Foxta v3

PARTIE H : MODULE GROUPIE+

H.1. PRESENTATION GENERALE 5
H.1.1. Introduction 5
H.1.2. Modes de calcul 5
H.2. ASPECTS THEORIQUES 6
H.2.1. Notations et conventions 6
H.2.1.1. Définition de la semelle de liaison - repère global 6
H.2.1.2. Définition des pieux - repères locaux 6
H.2.1.3. Définition des couches de sol 7
H.2.2. Mise en équation 7
H.2.2.1. Modélisation du comportement d'un pieu « i » 7
H.2.2.2. Modélisation de l'interaction pieux/sol 8
H.2.2.3. Modélisation de l'interaction semelle/pieux 10
H.2.3. Mise en œuvre 11
H.2.4. Limites de validité 11
H.2.5. Mise en œuvre en mode « manuel » 12
H.2.6. Définition des lois « p-y » et « t-z » à partir des essais pressiométriques 13
H.2.6.1. Loi de mobilisation de la réaction frontale « p-y » 13
H.2.6.2. Frottement axial et contrainte en pointe 14
H.3. MANUEL D'UTILISATION 15
H.3.1. Mode Groupie Manuel 16
H.3.1.1. Onglet "Paramètres/pieux" 16
H.3.1.2. Onglet "Raideurs" 17
H.3.1.3. Onglet "Etat initial" 20
H.3.1.4. Onglet "Chargement semelle" 21
H.3.1.5. Calcul 22
H.3.1.6. Résultats 22
H.3.2. Mode Groupie+ Automatique 25
H.3.2.1. Onglet "Paramètres" 25
H.3.2.2. Onglet "Pieux" 26
H.3.2.3. Onglet "Sols" 28
H.3.2.4. Onglet "Déformée libre du sol g(z)" 36
H.3.2.5. Onglet "Chargement semelle" 39
H.3.2.6. Calcul 39
H.3.2.7. Résultats 40
H.3.3. Mode Groupie+ Automatique Avancé 46
H.3.3.1. Onglet "Paramètres" 46

H.3.3.2. Onglet "Pieux" 49
H.3.3.3. Onglets "Famille" 49
H.3.3.4. Onglet "Chargement semelle" 53
H.3.3.5. Calcul 53
H.3.3.6. Résultats 53

H.4. EXEMPLES 55

H.4.1. Exemple 01 : Semelle sur pieux circulaires 55
H.4.1.1. Saisie des données 55
H.4.1.2. Calcul et résultats 58
H.4.1.3. Variante de pieux articulés 62

H.4.2. Exemple 02 : Fondation sur pieux en chevalet 67
H.4.2.1. Etape 1 : mode Groupie+ Automatique 67
H.4.2.2. Etape 2 : mode Groupie Manuel 74

H.4.3. Exemple 03 : Fondation sur barrettes 94
H.4.3.1. Saisie des données 94
H.4.3.2. Calcul et résultats 100

TABLE DES FIGURES

Figure H 1 : Fondation sur groupe de pieux 5
Figure H 2 : Conventions et repères 6
Figure H 3 : Efforts en tête d'un pieu 6
Figure H 4 : Principe de modélisation de l'interaction sol/pieu 9
Figure H 5 : Forme générale de la loi de mobilisation de la réaction du sol 9
Figure H 6 : Traitement des effets de groupe vis-à-vis du comportement latéral des pieux 12
Figure H 7 : Matrices de raideur équivalente en tête d'un pieu (Piecoef+, Taspie+) 12
Figure H 8 : Forme générale de la loi de mobilisation de la réaction frontale du sol 13
Figure H 9 : Forme générale de la loi de mobilisation de la réaction axiale du sol 14
Figure H 10 : Onglet "Paramètres/pieux" de Groupie Manuel 16
Figure H 11 : Figure d'aide : Repère global de la fondation – vue en perspective 17
Figure H 12 : Figure d'aide : Repère global de la fondation – vue de dessus 17
Figure H 13 : Onglet "Raideurs" 18
Figure H 14 : Assistant d'import depuis Taspie+ 19
Figure H 15 : Assistant d'import depuis Taspie+ - Sélection des pieux 19
Figure H 16 : Raideur sécante / raideur tangente 19
Figure H 17 : Assistant d'import depuis Piecoef+ 20
Figure H 18 : Onglet "Etat initial" 20
Figure H 19 : Onglet "Chargement semelle" 21
Figure H 20 : Fenêtre des résultats de Groupie 22
Figure H 21 : Résultats formatés de Groupie manuel 23
Figure H 22 : Tableau des résultats de Groupie 24
Figure H 23 : Onglet "Paramètres" de Groupie+ Automatique 25
Figure H 24 : Cadre "Paramètres avancés" de Groupie+ Automatique 26
Figure H 25 : Onglet "Pieux" de Groupie+ Automatique 26
Figure H 26 : Onglet "Sols" 28
Figure H 27 : Données manuelles – Loi de type "Latérale" 30
Figure H 28 : Données manuelles – Loi de type "Frottement" 30
Figure H 29 : Données manuelles – Loi de type "Pointe" 30
Figure H 30 : Données pressiométriques – Loi de type "Latérale" 32
Figure H 31 : Données pressiométriques – Loi de type "Frottement" 33
Figure H 32 : Données pressiométriques – Loi de type "Pointe" 33
Figure H 33 : Figure d'aide pour le pendage des couches 35

Figure H 34 : Figure d'aide pour la loi latérale 35
Figure H 35 : Figure d'aide pour la loi de frottement....36
Figure H 36 : Figure d'aide pour la loi de pointe 36
Figure H 37 : Déformée latérale du sol g(z) 37
Figure H 38 : Onglet "Déformée libre du sol g(z)"....37
Figure H 39 : Assistant de modification de table....38
Figure H 40 : Assistant d'importation depuis le presse-papiers....39
Figure H 41 : Fenêtre "Calcul en cours"....40
Figure H 42 : Fenêtre des résultats de Groupie+ Automatique 41
Figure H 43 : Résultats numériques - "Chargemements et déplacements de la semelle" 41
Figure H 44 : Raideurs globales de la fondation....42
Figure H 45 : Figure d'aide pour les raideurs globales de la fondation 42
Figure H 46 : Résultats numériques - "Efforts en tête des pieux"....42
Figure H 47 : Figure d'aide pour les efforts en tête des pieux 43
Figure H 48 : Coupe graphique - Courbes "Comportement latéral"....44
Figure H 49 : Coupe graphique - Courbes "Comportement axial"....44
Figure H 50 : Coupe graphique - Courbes "Résultats complémentaires"....45
Figure H 51 : Onglet "Paramètres" de Groupie+ Automatique Avancé 46
Figure H 52 : Création d'une famille....46
Figure H 53 : Loi de type "Latérale" 47
Figure H 54 : Loi de type "Frottement"....47
Figure H 55 : Loi de type "Pointe"....48
Figure H 56 : Cadre "Paramètres avancés" de Groupie+ Automatique Avancé....49
Figure H 57 : Onglet "Pieux" de Groupie+ Automatique Avancé....49
Figure H 58 : Onglet "Famille"....50
Figure H 59 : Cadre "Définition Sol/Pieux"....51
Figure H 60 : Fenêtre des résultats de Groupie+ Automatique Avancé 53

TABLE DES TABLEAUX

Tableau H 1 : Paramètres de la loi de mobilisation de la réaction frontale 13
Tableau H 2 : Paramètres des lois de mobilisation de la réaction axiale 14
Tableau H 3 : Onglet "Paramètres" – Cadre "Définition des pieux"....16
Tableau H 4 : Onglet "Raideurs" – Cadre "Raideurs équivalentes en tête des pieux"....18
Tableau H 5 : Onglet "Etat initial" – Cadre "Efforts en tête à l'origine"....21
Tableau H 6 : Onglet "Etat initial" – Cadre "Déplacements en tête à l'origine" 21
Tableau H 7 : Onglet "Chargement semelle" – Cadre "Cas de chargement"....22
Tableau H 8 : Détail des résultats numériques de Groupie....24
Tableau H 9 : Onglet "Pieux" – Cadre "Définition des pieux" 27
Tableau H 10 : Onglet "Pieux" – Cadre "Raideurs en pointe"....27
Tableau H 11 : Onglet "Sol" – Cadre "Définition des sols"....29
Tableau H 12 : Onglet "Sols" - Définition des lois : Données manuelles 31
Tableau H 13 : Onglet "Sols" – Définition des lois : Données pressiométriques 34
Tableau H 14 : Onglet "Déformée libre du sol g(z)" – Cadre "Définition de g(z)" 38
Tableau H 15 : Résultats numériques – "Chargement/déplacement de la semelle" 41
Tableau H 16 : Onglet "Paramètres" – Lois : Données manuelles 48
Tableau H 17 : Onglet "Pieux" – Cadre "Définition des pieux"....49
Tableau H 18 : Onglet "Famille" – Cadre "Paramètres"....51
Tableau H 19 : Onglet "Famille" – Cadre "Définition Sols/Pieux" 52
Tableau H 20 : Onglet "Famille" – Cadre "Options" – "Raideurs de rappel ponctuelles"....52
Tableau H 21 : Onglet "Famille" – Cadre "Options" – "Définition de g(z)" 53

H.1. PRESENTATION GENERALE

H.1.1. Introduction

Le module Groupie+ permet le calcul d'une fondation sur groupe de pieux, barrettes ou micropieux. C'est un programme hybride qui profite de la puissance des formulations matricielles dérivées des éléments finis pour l'étude des problèmes d'interaction sol structure. Le processus de calcul est rendu totalement automatique pour faciliter la modélisation et minimiser le temps de calcul. Toutefois, la version « classique » basée sur le calcul manuel a été conservée.

Dans tous les cas, le problème tridimensionnel est scindé en deux parties : les pieux et le massif de sol encaissant. Les pieux, orientables dans l'espace, sont modélisés par des poutres élastiques caractérisées par leur rigidité axiale et celle en flexion, et discrétisées en éléments finis. L'interaction pieux/sol est modélisée par des lois de transfert non linéaires de type "p-y" et "t-z". Enfin, le chargement sur la semelle est défini par un torseur d'effort à six composantes.

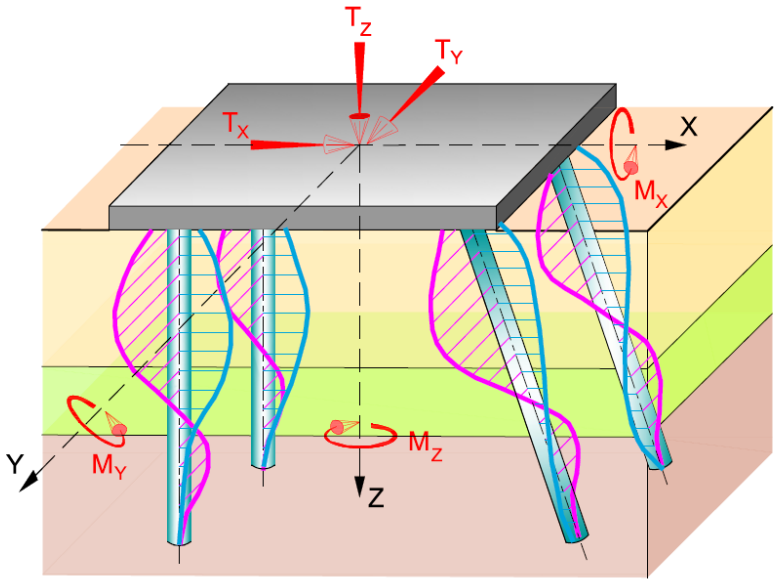


Figure H 1 : Fondation sur groupe de pieux

H.1.2. Modes de calcul

Deux modes de fonctionnement sont possibles :

- Gestion manuelle du processus de calcul (mode Groupie Manuel) : chaque pieu est à caractériser par une matrice de raideur équivalente en tête préalablement définie à l'aide des modules Taspie+ et Piecoef+. Le problème se réduit ainsi à l'équilibre de la semelle soumise au torseur des efforts extérieurs et aux réactions en tête des pieux. Les itérations à conduire, notamment dans le cas de la plastification de sol, sont à gérer manuellement par l'utilisateur pour chaque cas de chargement et chaque pieu.
- Gestion automatique du calcul (modes Groupie+ Automatique et Groupie+ Automatique Avancé) : les pieux sont discrétisés en éléments de poutre caractérisés par une rigidité axiale et un produit d'inertie dans chaque direction. Le sol, de comportement élastoplastique, est défini comme un multicouche quelconque offrant la possibilité d'introduire des pendages dans les deux directions. Le problème consiste à résoudre l'équilibre global du groupe de pieux. Le processus de calcul est à la fois autonome et automatique.

H.2. ASPECTS THEORIQUES

H.2.1. Notations et conventions

H.2.1.1. Définition de la semelle de liaison - repère global

Le repère global $(O, \vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z})$ est un repère orthonormé direct dont l'axe $(O, \vec{Z})$ est vertical descendant. Le torseur des efforts extérieurs appliqués sur la semelle, ainsi que celui des déplacements résultants sont exprimés au point O selon les conventions de la mécanique. Les forces et les déplacements sont positifs s'ils sont orientés dans le même sens des axes du repère global. Les moments et les rotations sont positifs si leurs vecteurs associés sont positifs au sens de la règle du tire-bouchon (voir la Figure H 2).

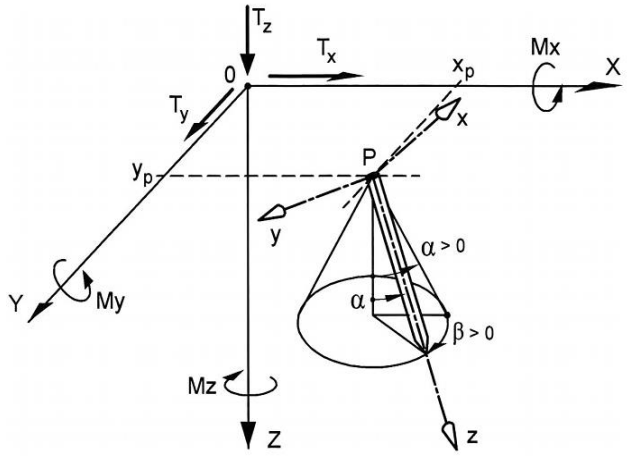


Figure H 2 : Conventions et repères

H.2.1.2. Définition des pieux - repères locaux

On désigne par « n_p » le nombre total de pieux. Chaque pieu « i » est défini par les coordonnées de sa tête (X_P, Y_P, Z_P) et par deux angles α et β précisant son orientation dans le repère global (voir la Figure H 2). Le repère local qui lui est associé, noté $(P, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$, est tel que l'axe $(P, \vec{y})$ reste toujours orthogonal à l'axe $(O, \vec{Z})$. Le torseur des efforts en tête de chaque pieu (résultat du calcul) est exprimé dans le repère local de celui-ci, tout en adoptant les conventions de signe particulières présentées dans la Figure H 3.

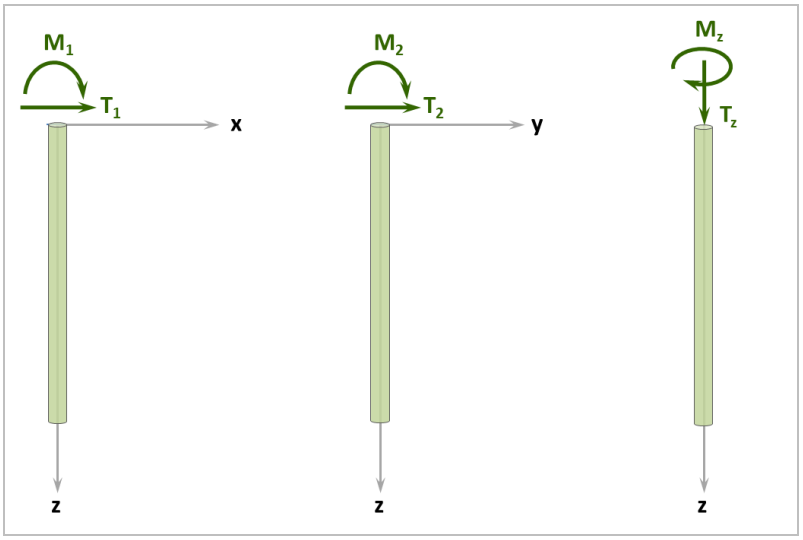


Figure H 3 : Efforts en tête d'un pieu

Un pieu est caractérisé par différents paramètres géométriques et mécaniques. Sa disposition et son orientation dans l'espace sont définies par les éléments suivants :

X_P : abscisse de la tête du pieu dans le repère global ;

Y_P : ordonnée de la tête du pieu dans le repère global ;

Z_P : cote de la tête du pieu ;

L : longueur du pieu ;

α : angle existant entre la direction du pieu et la verticale $\alpha \in [0°,90°[$;

β : angle défini par la rotation du pieu autour de l'axe vertical $\beta \in [0°,360°[$.

Les caractéristiques mécaniques d'un pieu sont :

EI_x : produit d'inertie du pieu dans la direction x ;

EI_y : produit d'inertie du pieu dans la direction y ;

ES : rigidité axiale du pieu ;

Γ : raideur à la torsion équivalente en tête.

Liaison avec la semelle :

$Liaison$: type de la liaison entre le pieu et la semelle (articulation ou encastrement).

Dans le cas où les pieux ne sont pas libres en pointe, des raideurs complémentaires en translation latérale et en rotation peuvent être définies pour simuler les liaisons en pointe de chaque pieu.

H.2.1.3. Définition des couches de sol

Le sol de fondation est constitué d'une ou plusieurs couches de caractéristiques géométriques et mécaniques différentes. Les paramètres géométriques introduisent des contraintes sur le maillage des pieux. Ces dernières forcent la création de nœuds imposés au droit des points d'intersection des pieux avec les interfaces de couches. Chaque couche de sol est caractérisée par les paramètres suivants :

$Cote_{base}$: cote de la base au droit de l'axe $(O,\vec{Z})$;

α_Y : angle que fait la base avec l'axe $(O,\vec{Y})$ avec $\alpha_Y \in]-90°,90°[$;

α_X : angle que fait la base avec l'axe $(O,\vec{X})$ avec $\alpha_X \in]-90°,90°[$.

Les autres caractéristiques servent pour la définition des lois de réaction pieu-sol en tenant compte des dimensions des pieux (largeur de réaction, périmètre, section).

H.2.2. Mise en équation

H.2.2.1. Modélisation du comportement d'un pieu « i »

Chaque pieu est assimilé à une poutre de comportement élastique linaire. On se place dans le cas de poutres de section homogène ce qui permet de dissocier le comportement en flexion de celui en traction/compression.

Le comportement en flexion composée de la poutre représentative d'un pieu « i » peut être décrit à l'aide du système d'équations suivant :

$$\begin{cases} ES^i \dfrac{d^2 u_z^i(z)}{dz^2} = q_z^i(z) - r_z^i(z) \\ EI_x^i \dfrac{d^4 u_x^i(z)}{dz^4} = q_x^i(z) - r_x^i(z) \\ EI_y^i \dfrac{d^4 u_y^i(z)}{dz^4} = q_y^i(z) - r_y^i(z) \end{cases} \quad (1)$$

Avec :

- $u_k^i(z)$: déplacement du pieu « i » selon la direction « k » (k = x, y ou z) ;
- EI_k^i : produit d'inertie du pieu « i » dans la direction « k » (k = x, y) ;
- ES^i : rigidité axiale du pieu « i » ;
- $q_k^i(z)$: composante « k » de la densité de chargement linéique extérieur sur le pieu « i » autre que la réaction du sol (k = x, y ou z) ;
- $r_k^i(z)$: composante « k » de la réaction du sol sur le pieu « i » (k = x, y ou z).

La modélisation de ce système d'équations peut être menée numériquement en discrétisant le pieu en éléments finis de poutre. On utilise pour cela des éléments « classiques » à 2 nœuds et 5 degrés de liberté par nœud : un déplacement axial, deux déplacements latéraux, et deux rotations. En tout point, la rotation de la poutre coïncide avec la dérivée du champ de déplacement latéral (approximation de Bernoulli). Dans le cadre de cette discrétisation, l'équilibre du pieu se traduit par un système matriciel équivalent de taille $5(p_i+1) \times 5(p_i+1)$ où p_i désigne le nombre total d'éléments du pieu « i » :

$$\mathbf{K}_p^i . \mathbf{u}^i = \mathbf{F}_{ext}^i - \mathbf{R}_s^i \quad (2)$$

Avec :

- $\mathbf{K}_p^i$: matrice de rigidité du pieu « i » constituée par assemblage des matrices de rigidité élémentaires ;
- $\mathbf{F}_{ext}^i$: vecteur chargement relatif aux charges latérales sur le pieu « i » autres que la réaction du sol ;
- $\mathbf{R}_s^i$: vecteur chargement relatif à la réaction du sol sur le pieu « i » ;
- $\mathbf{u}^i$: vecteur déplacement équivalent du pieu « i » constitué par les déplacements (u_x, u_y, u_z) et les rotations (θ_x, θ_y) en chaque nœud.

H.2.2.2. Modélisation de l'interaction pieux/sol

L'interaction des pieux avec le sol environnant peut être décrite par :

- Une réaction frontale à deux composantes (découplées), selon x et y ;
- Une réaction axiale (frottement) selon z ;
- Une réaction en pointe, limitée usuellement à sa composante axiale selon z.

La modélisation de chacune de ces composantes se base sur les principes des modèles « p-y » (composantes frontales) et « t-z » (composantes axiales). Ces modèles consistent à assimiler les réponses frontales et axiales du sol environnant à celles d'une distribution de ressorts juxtaposés élastoplastiques (voir figure suivante).

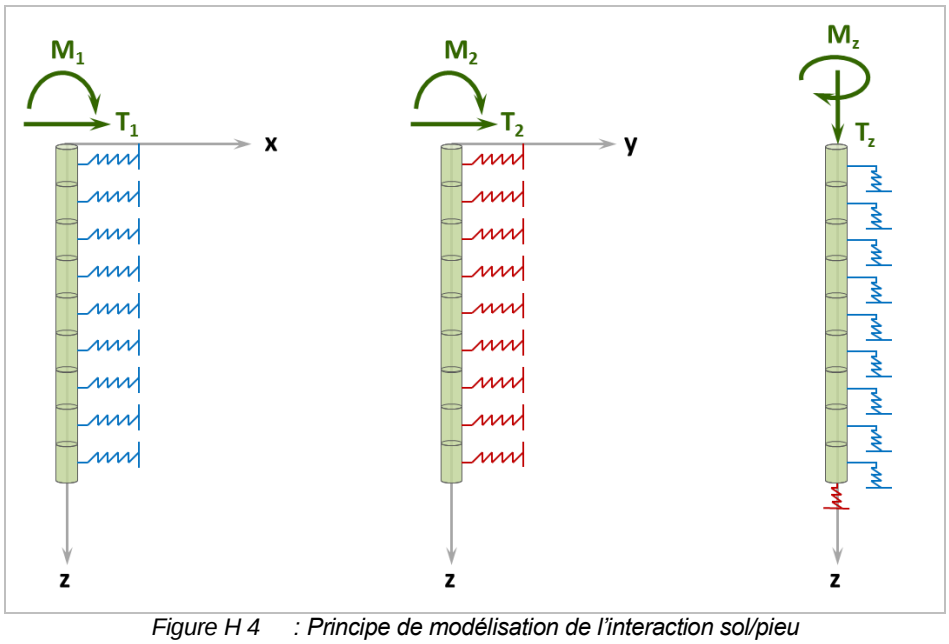


Figure H 4 : Principe de modélisation de l'interaction sol/pieu

Chacune de ces distributions de ressorts est caractérisée par une loi de mobilisation à trois paliers reliant la réaction du sol (pour une composante donnée) au déplacement relatif du pieu (selon un axe donné) comme le montre la figure suivante. Le caractère relatif du déplacement apparaissant en abscisse permet notamment de traiter le cas des effets parasites (effets latéraux de type « g(z) » ou frottement négatif) se développant dans une ou plusieurs couches de sol.

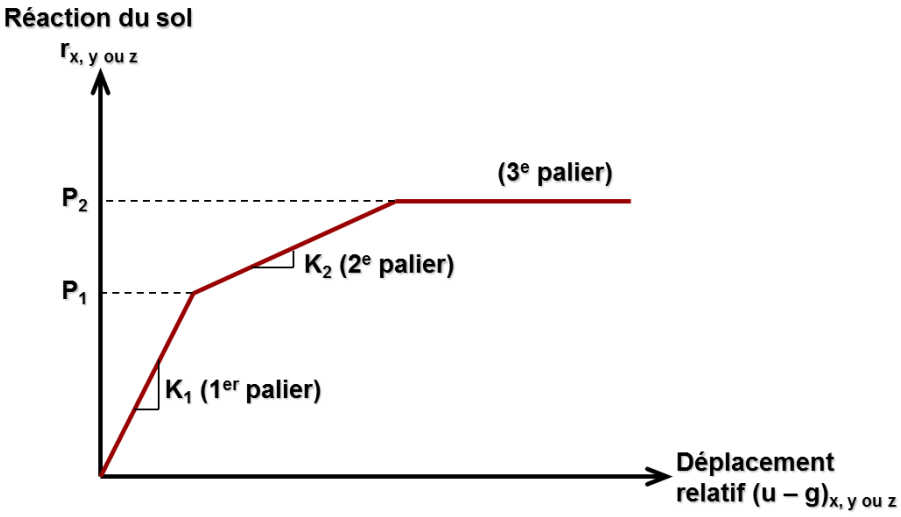


Figure H 5 : Forme générale de la loi de mobilisation de la réaction du sol

Selon les notations de la figure ci-dessus, la réaction latérale du sol r(z) s'exprime ainsi :

$$r = \alpha[u - g] + \beta$$

Avec :

- Pour le 1er palier : $\alpha = K_1$ & $\beta = 0$;
- Pour le 2e palier : $\alpha = K_2$ & $\beta = P_1.\left(1 - \frac{K_2}{K_1}\right)$;
- Pour le 3e palier : $\alpha = 0$ & $\beta = P_2$;

Dans le cadre de la discrétisation éléments finis retenue pour le pieu « i », cette relation peut s'écrire matriciellement sous la forme suivante :

$$\mathbf{R}_s^i = \mathbf{K}_s^i.\left(\mathbf{u}^i - \mathbf{g}^i\right) + \mathbf{c}_s^i \quad (3)$$

Où :

- $\mathbf{K}_s^i$: matrice de rigidité du sol en contact avec le pieu « i » correspondant à la part élastique de la courbe de mobilisation dans chaque élément ;
- $\mathbf{c}_s^i$: vecteur chargement équivalent correspondant à la part « plastique » de la réaction du sol en contact avec le pieu « i » ;
- $\mathbf{g}^i$: vecteur déplacement équivalent correspondant au déplacement libre du sol en contact avec le pieu « i ».

La combinaison des équations précédentes conduit à la formulation globale du système traduisant la réponse du pieu « i » en interaction avec le sol environnant :

$$\left(\mathbf{K}_p^i + \mathbf{K}_s^i\right)\mathbf{u}^i = \mathbf{F}_{ext}^i + \mathbf{K}_s^i.\mathbf{g}^i - \mathbf{c}_s^i \quad (4)$$

La gestion de la plastification du sol est conduite par un processus itératif durant lequel les termes $\mathbf{K}_s^i$ et $\mathbf{c}_s^i$ évoluent jusqu'à l'obtention d'une solution compatible, en tout point du pieu, et dans chaque direction, avec la loi de mobilisation de la réaction du sol.

H.2.2.3. Modélisation de l'interaction semelle/pieux

L'interaction entre la semelle et les pieux est décrite moyennant une condition de contact de type « encastrement » ou « articulation ». Dans le premier cas, on écrit l'égalité entre les déplacements et les rotations de la semelle et ceux des pieux en tête. Dans le second, seule l'égalité des déplacements est considérée.

Dans les deux cas, l'équilibre statique de la semelle peut s'écrire sous la forme :

$$\mathbf{K}_{sem}.\mathbf{u}_{pieux}^{tête} = \mathbf{T}_{ext} - \mathbf{T}_{pieux}^{tête} \quad (5)$$

Avec :

- $\mathbf{K}_{sem}$: matrice de rigidité de la semelle ;
- $\mathbf{T}_{ext}$: vecteur représentant le torseur de chargement extérieur appliqué sur la semelle (donnée du problème) ;
- $\mathbf{u}_{pieux}^{tête}$: vecteur représentant les déplacements et les rotations en tête des pieux. Ce vecteur est directement lié aux vecteurs déplacement $\mathbf{u}^i$ relatifs à chaque pieu ;
- $\mathbf{T}_{pieux}^{tête}$: vecteur représentant les efforts et moments en tête des pieux. Celui-ci est directement lié aux vecteurs chargement extérieur $\mathbf{F}_{ext}^i$ relatifs à chaque pieu.

H.2.3. Mise en œuvre

La mise en œuvre du modèle repose sur la constitution et la résolution du système d'équations global régissant l'équilibre du système « semelle + pieux » en interaction avec le sol. Le moteur de calcul de Groupie+ assemble ainsi dans un même système matriciel, l'équation d'équilibre de la semelle (5) avec celles traduisant les équilibres locaux de chaque pieu (4). Les éléments de ce système peuvent être complétés par des conditions d'appui complémentaires introduites en un point quelconque d'un pieu donné sous la forme d'un appui élastique ponctuel. Le calcul étant non linéaire, la résolution est menée d'une manière itérative.

La résolution du système final permet d'obtenir les déplacements, rotations et réactions en tout point de chaque pieu, en particulier en tête. Connaissant les réactions, les efforts internes (T_x T_y T_z M_x M_y) sont calculés ensuite par intégration selon la formule générale suivante :

$$T_k(z) = \int_0^z [q_k(t) - r_k(t)]dt + T_k(0) \qquad \text{k = x, y ou z}$$

$$M_k(z) = \int_0^z T_k(t)dt + M_k(0) \qquad \text{k = x ou y}$$

Le modèle permet également de définir un système de raideur tangente équivalente au centre de la semelle, qui peut servir ensuite de paramètre d'entrée au modèle « structure ». Le système de raideurs en tête se compose d'une «matrice» de raideur 6 x 6 symétrique et d'un terme « constant » selon la formule générale suivante :

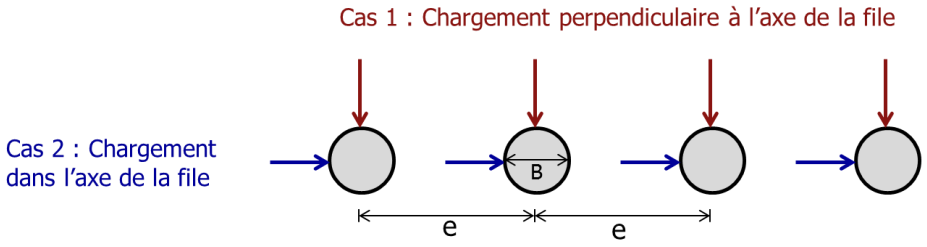
$$\begin{bmatrix} T_X \\ M_Y \\ T_Y \\ M_X \\ T_Z \\ M_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{u_X,u_X} & k_{u_X,\theta_Y} & k_{u_X,u_Y} & k_{u_X,\theta_X} & k_{u_X,u_Z} & k_{u_X,\theta_Z} \\ . & k_{\theta_Y,\theta_Y} & k_{\theta_Y,u_Y} & k_{\theta_Y,\theta_X} & k_{\theta_Y,u_Z} & k_{\theta_Y,\theta_Z} \\ . & . & k_{u_Y,u_Y} & k_{u_Y,\theta_X} & k_{u_Y,u_Z} & k_{u_Y,\theta_Z} \\ . & . & . & k_{\theta_X,\theta_X} & k_{\theta_X,u_Z} & k_{\theta_X,\theta_Z} \\ . & . & . & . & k_{u_Z,u_Z} & k_{u_Z,\theta_Z} \\ . & . & . & . & . & k_{\theta_Z,\theta_Z} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_X \\ \theta_Y \\ u_Y \\ \theta_X \\ u_Z \\ \theta_Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_{0X} \\ M_{0Y} \\ T_{0Y} \\ M_{0X} \\ T_{0Z} \\ M_{0Z} \end{bmatrix}$$

H.2.4. Limites de validité

La formulation précédente est valable dans le cas de pieux de section homogène autorisant un découplage entre le comportement axial et celui en flexion. La validité du système considéré suppose également des pieux suffisamment élancés pour négliger l'influence des déformations dues à l'effort tranchant.

La validité du modèle général suppose par ailleurs une adaptation préalable des lois d'interaction pieu/sol afin de tenir compte de certains cas particuliers comme celui d'une fondation située à proximité d'un talus ou des zones de pieux proches de la surface. L'effet de groupe entre les pieux (interaction pieu/sol/pieu) est également de nature à nécessiter une dégradation préalable des paramètres de pente et/ou des paliers plastiques caractérisant la loi de mobilisation de la réaction du sol.

A titre informatif, la figure suivante rappelle le principe des adaptations préconisées dans la norme NF P94-262 dans le cas d'un effet de groupe affectant le comportement latéral des pieux. Les valeurs de ρ_1 et ρ_2 sont fonctions du rapport diamètre sur espacement.



Cas 1 : raideur diminuée avec un facteur ρ_1 / palier plastique inchangé

Cas 2 : raideur inchangée / palier plastique diminué avec un facteur ρ_2

Figure H 6 : Traitement des effets de groupe vis-à-vis du comportement latéral des pieux

H.2.5. Mise en œuvre en mode « manuel »

Le mode manuel de Groupie consiste à caractériser la réponse de chaque pieu par une matrice de raideur équivalente en tête issue d'un calcul préalable mené à l'aide des modules Taspie+ et Piecoef+ (cf. figure ci-après).

La formulation mathématique du système est alors adaptée en remplaçant l'équation (4) par celle représentée par les matrices de raideur en tête issue de Taspie+ et Piecoef+.

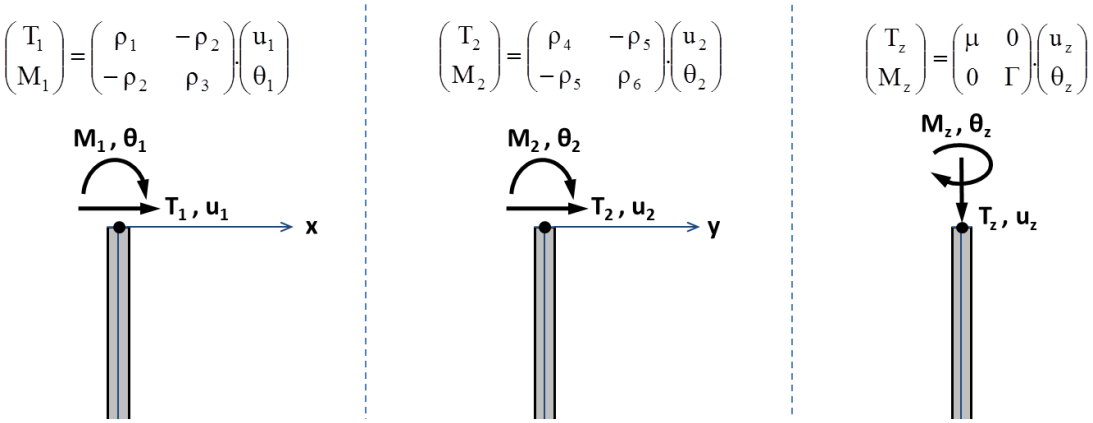


Figure H 7 : Matrices de raideur équivalente en tête d'un pieu (Piecoef+, Taspie+)

H.2.6. Définition des lois « p-y » et « t-z » à partir des essais pressiométriques

H.2.6.1. Loi de mobilisation de la réaction frontale « p-y »

Au sens de de la norme NF P94-262, la loi de mobilisation de la réaction frontale peut être définie selon la forme générale de la figure suivante.

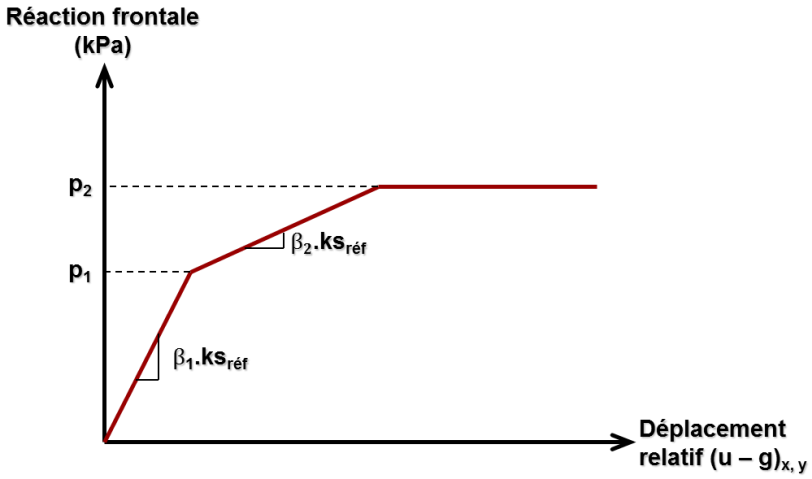


Figure H 8 : Forme générale de la loi de mobilisation de la réaction frontale du sol

Où $ks_{réf,}$ désigne un coefficient de réaction de référence (contrainte par unité de longueur), exprimé en fonction du module pressiométrique E_M, du coefficient rhéologique α, du diamètre (équivalent) du pieu B ainsi que d'un diamètre de référence B_0 pris égal à 0,6 m :

$$ks_{ref} = \frac{1}{B}.\frac{18.E_M}{\left(4.\left(2{,}65.\frac{B}{B_0}\right)^{\alpha}.\frac{B_0}{B}+3.\alpha\right)} \quad \text{si} \quad B \geq B_0$$

$$ks_{ref} = \frac{1}{B}.\frac{18.E_M}{\left(4.(2{,}65)^{\alpha}+3.\alpha\right)} \quad \text{si} \quad B \leq B_0$$

Les valeurs de β_i et p_i, variables selon le type des sollicitations, sont récapitulées dans le tableau suivant :

Type de sollicitations	β_1	β_2	p1	p2
Cas où les sollicitations permanentes dominent en tête	1	0	p_f*	p_f*
Cas où les sollicitations dues aux poussées latérales du sol dominent		1/2		p_l*
Cas où les sollicitations de courte durée en tête dominent	2	0		p_f*
Cas où les sollicitations accidentelles très brèves en tête dominent		1		p_l*

Tableau H 1 : *Paramètres de la loi de mobilisation de la réaction frontale*

Où p_f* et p_l* désignent respectivement la pression de fluage nette et la pression limite nette du sol issues de l'essai pressiométrique. Notons que pour le cas où p1 = p2, on a $\beta_2 = 0$ et on se ramène donc à une courbe de mobilisation à deux paliers (élastique parfaitement plastique).

H.2.6.2. Frottement axial et contrainte en pointe

Au sens de de la norme NF P94-262, les lois de mobilisation du frottement axial et de la contrainte en pointe peuvent être définie selon la forme générale de la figure suivante.

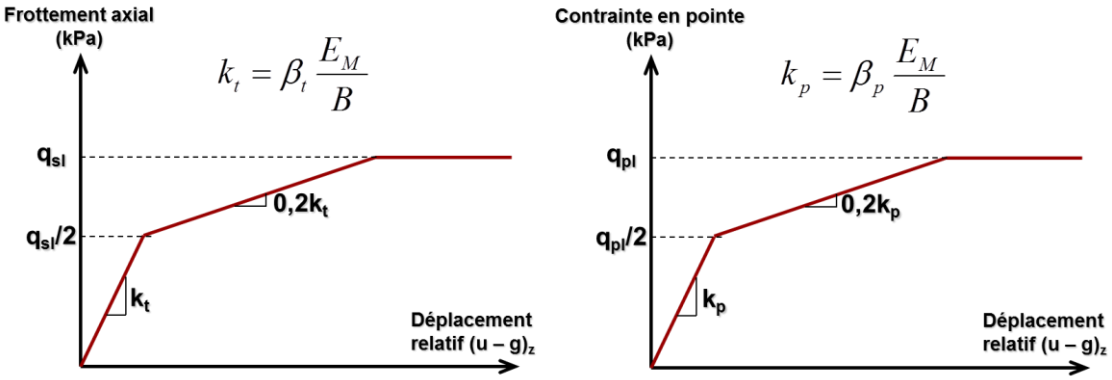


Figure H 9 : Forme générale de la loi de mobilisation de la réaction axiale du sol

Où q_{sl} et q_{pl} sont respectivement le frottement axial limite et la contrainte limite en pointe, E_M le module pressiométrique et B le diamètre équivalent du pieu. Les valeurs de β_t et β_p sont fournies dans le tableau ci-dessous pour le cas d'un pieu foré. En l'absence de données expérimentales spécifiques, on pourra retenir les mêmes valeurs pour les pieux battus.

Type de sols	**β_t**	**β_p**
Sols fins	2,0	11
Sols granulaires	0,8	4,8

Tableau H 2 : *Paramètres des lois de mobilisation de la réaction axiale*

H.3. MANUEL D'UTILISATION

Ce chapitre est consacré à la présentation de l'interface du module Groupie+. Les éléments suivants y sont détaillés :

- Les paramètres d'entrée nécessaires au calcul ;
- Les résultats générés suite au calcul.

Pour bâtir un modèle, le module Groupie+ offre trois possibilités, que l'on désignera dorénavant par modes : Groupie Manuel, Groupie+ Automatique ou Groupie+ Automatique Avancé. Le choix de tel ou tel mode conditionne le contenu des onglets actifs et agit également sur leur nombre :

- Groupie Manuel : 4 onglets ;
- Groupie+ Automatique : 5 onglets ;
- Groupie+ Automatique Avancé : 3 onglets
  + un onglet supplémentaire par famille créée.

La présentation des résultats varie également en fonction du mode utilisé.

Pour sélectionner un mode, il suffit de cliquer sur le bouton correspondant. Ce choix est à définir dans le premier onglet activé par défaut.

Groupie Manuel : ce mode est utilisé en combinaison avec Taspie+ et Piecoef+. Chaque pieu est modélisé par sa matrice de raideurs équivalentes en tête. Groupie résout l'équilibre de la semelle, supposée infiniment rigide, soumise à un torseur d'efforts extérieurs et aux réactions des pieux. Dans le cas où le sol plastifie, le calcul itératif est géré manuellement par des allers-retours entre les trois modules.

Groupie+ Automatique (mode sélectionné par défaut) : c'est un mode autonome n'interagissant pas avec d'autres modules. Il est dédié au cas d'un groupe de pieux à section circulaire uniforme. Les pieux peuvent avoir des caractéristiques géométriques / mécaniques différentes ainsi qu'une disposition quelconque dans l'espace. Le massif de sol est défini de manière globale par un multicouche indépendamment de la fondation et supporte l'introduction des pendages de couches dans les deux directions.

Groupie+ Automatique Avancé : ce mode travaille essentiellement par familles. Il a été conçu, à la base, pour permettre le calcul de barrettes. Contrairement au mode précédent, il est possible d'affecter aux pieux une section quelconque variable par tronçons et de définir des lois d'interaction latérale sol/pieu spécifiques à chaque direction.

Dans la suite du manuel, les entrées et sorties du module Groupie+ sont présentées par mode puis par onglet.

Ce chapitre ne détaille pas l'interface utilisateurs proprement dite et ses manipulations (boutons, menus, etc.). Ces aspects sont traités dans la partie C du manuel d'utilisation de FoXta v3.

H.3.1. Mode Groupie Manuel

H.3.1.1. Onglet "Paramètres/pieux"

Sélectionner le mode Groupie Manuel en cliquant sur le bouton .

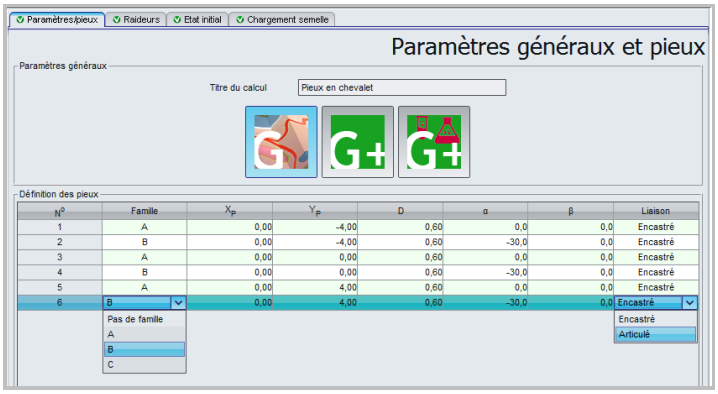


Figure H 10 : Onglet "Paramètres/pieux" de Groupie Manuel

Cet onglet est composé de deux cadres :

- Paramètres généraux ;
- Définition des pieux.

H.3.1.1.1. Cadre "Paramètres généraux"

Il contient les données suivantes :

- Titre du calcul ;
- Mode Groupie Manuel : sélectionné.

H.3.1.1.2. Cadre "Définition des pieux"

Ce cadre permet de définir la disposition et l'orientation des pieux, ainsi que la liaison qu'ils forment avec la semelle.

Il est possible d'affecter une famille à un ensemble de pieux, permettant de regrouper les efforts obtenus sur tous les pieux d'une même famille. Pour affecter une famille à un pieu, il suffit de sélectionner une lettre dans la liste déroulante "Famille". Si on ne souhaite pas gérer de familles, il suffit de laisser la valeur par défaut "Pas de famille".

Pour ajouter un pieu, cliquer sur le bouton "Ajoute une ligne" puis définir ses caractéristiques. Les données à introduire sont les suivantes :

Désignation	**Unité**	**Valeur par défaut**	**Condition d'affichage**	**Valeur obligatoire**	**Contrôles locaux**
Famille du pieu	-	Pas de famille	Toujours	Oui	-
X_P : abscisse de la tête du pieu - repère global	m	0	Toujours	Oui	-
Y_P : ordonnée de la tête du pieu - repère global	m	0	Toujours	Oui	-
D : diamètre de la section du pieu (*)	m	0	Toujours	Oui	> 0
α : angle d'inclinaison du pieu par rapport à l'axe (OZ)	°	0	Toujours	Oui	-
β : orientation du pieu autour de l'axe (OZ)	°	0	Toujours	Oui	-
Liaison : liaison en tête du pieu : encastrement ou articulation (rotule)	-	Encastré	Toujours	Oui	-

Tableau H 3 : *Onglet "Paramètres" – Cadre "Définition des pieux"*

(*) A l'exception des autres paramètres, le diamètre renseigné dans Groupie Manuel n'est pas un paramètre de calcul. Sa valeur permet uniquement de paramétrer le rendu graphique de la fondation.

Deux figures d'aide sont disponibles schématisant le repère global de la fondation (OXYZ).

- Vue en perspective :

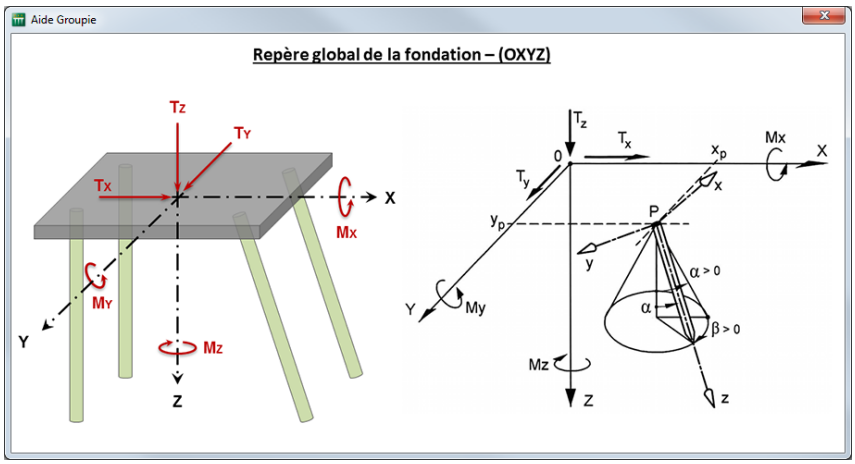


Figure H 11 : Figure d'aide : Repère global de la fondation – vue en perspective

- Vue de dessus :

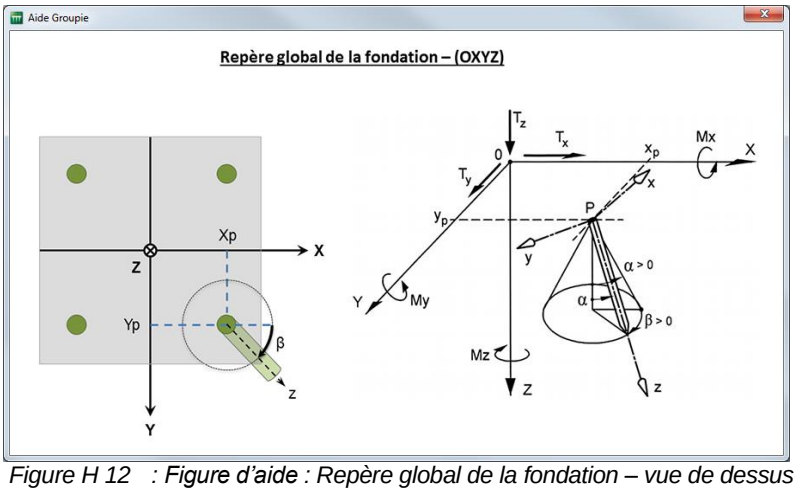


Figure H 12 : Figure d'aide : Repère global de la fondation – vue de dessus

H.3.1.2. Onglet "Raideurs"

On renseigne dans cet onglet les raideurs équivalentes en têtes des pieux. Ces raideurs peuvent être évaluées facilement par les modules Taspie+ et Piecoef+.

L'onglet "Raideurs" est composé d'un seul cadre muni d'un assistant d'importation.

H.3.1.2.1. Cadre "Raideurs équivalentes en tête"

Ce cadre permet de définir les raideurs équivalentes en têtes des pieux. Elles sont exprimées dans le repère local (Pxyz) de chaque pieu. Les paramètres demandés sont indiqués dans le tableau ci-après.

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
μ : raideur axiale équivalente	kN/m	0	Toujours	Oui	> 0
ρ_1 : raideur en translation selon (Px)	kN/m	0	Toujours	Oui	≥ 0
ρ_2 : raideur "croisée" translation/rotation dans le plan (Pxz)	kN	0	Toujours	Oui	≥ 0
ρ_3 : raideur en rotation dans le plan (Pxz)	kN.m/rad	0	Toujours	Oui	≥ 0
ρ_4 : raideur en translation selon (Py)	kN/m	0	Toujours	Oui	≥ 0
ρ_5 : raideur "croisée" translation/rotation dans le plan (Pyz)	kN	0	Toujours	Oui	≥ 0
ρ_6 : raideur en rotation dans le plan (Pyz)	kN.m/rad	0	Toujours	Oui	≥ 0
Γ : raideur en torsion équivalente	kN.m/rad	1.0	Toujours	Oui	≥ 0

Tableau H 4 : *Onglet "Raideurs" – Cadre "Raideurs équivalentes en tête des pieux"*

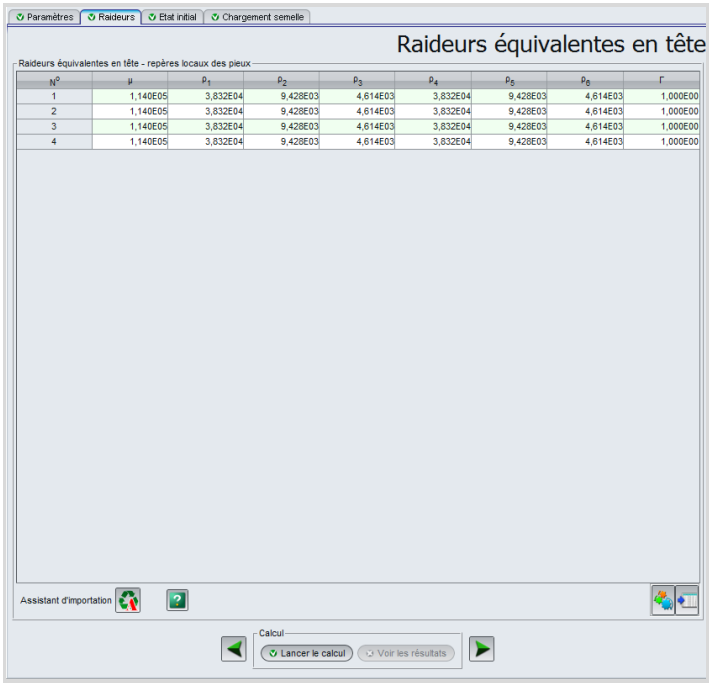


Figure H 13 : Onglet "Raideurs"

H.3.1.2.2. Assistant d'import de pieux dans Groupie

Cet assistant sert pour importer les raideurs calculées depuis les modules Taspie+ et Piecoef+. Pour l'utiliser, il suffit de sélectionner une ligne du tableau "Raideurs" puis de cliquer sur le bouton . Une fois lancé, l'assistant d'importation est constitué de deux sous-onglets.

Sous-onglet "Importer depuis Taspie+"

Cet assistant permet d'importer la raideur axiale μ selon la direction z.

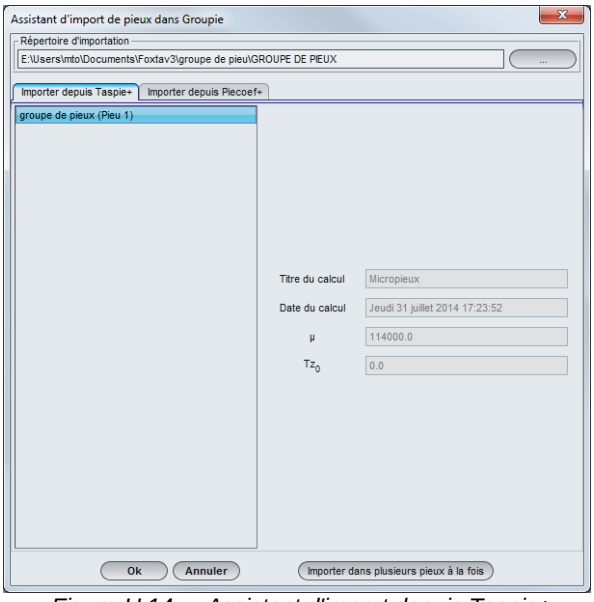


Figure H 14 : Assistant d'import depuis Taspie+

Mode de fonctionnement :

- Sélectionner un pieu ;
- Pour importer les valeurs pour tous les pieux, cliquer sur le bouton Importer dans plusieurs pieux à la fois. Sélectionner à l'aide de la souris les différents pieux qui s'affichent comme dans la fenêtre ci-dessous. Cliquer sur le bouton OK.
  Sinon, la valeur sera importée uniquement pour la ligne sélectionnée.

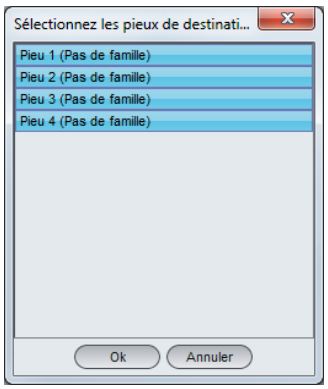


Figure H 15 : Assistant d'import depuis Taspie+ - Sélection des pieux

Nota :

- La valeur de μ importée est celle correspondant à la raideur sécante à l'ELS en combinaison quasi permanente.
- La valeur de T_{z0} importée est toujours égale à 0. Ceci vient du fait que la raideur μ est définie comme la raideur sécante et non la raideur tangente (voir schéma ci-après).

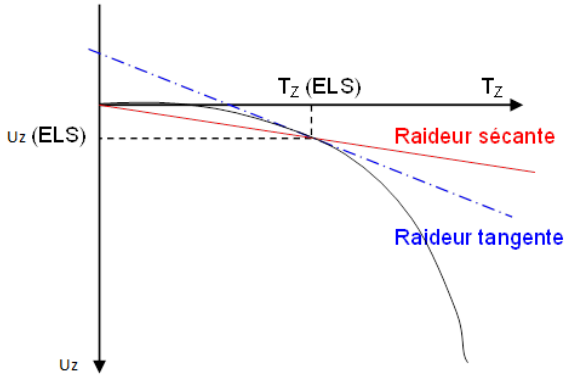


Figure H 16 : Raideur sécante / raideur tangente

Sous-onglet "Importer depuis Piecoef+"

Procéder de la même manière que pour l'import depuis Taspie+.

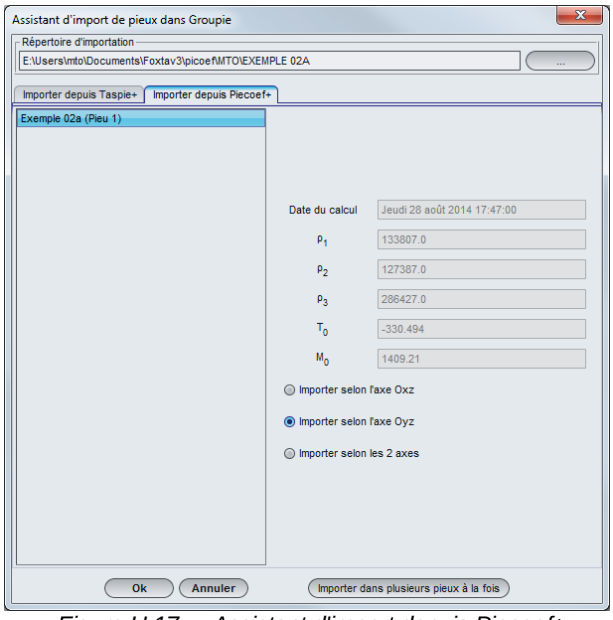


Figure H 17 : Assistant d'import depuis Piecoef+

NB : L'import depuis Piecoef+ permet d'importer ρ1, ρ2, ρ3, T_0 et M_0 dans la direction x, y ou dans les deux directions en même temps.

H.3.1.3. Onglet "Etat initial"

Pour donner un sens aux raideurs renseignées dans l'onglet précédent, il y a lieu de préciser une référence (valeur à l'origine) pour chaque raideur. Hormis la raideur axiale et celle en torsion qui sont définies de manière sécante, les autres raideurs sont plutôt tangentes et donc il faudra caractériser leur état initial.

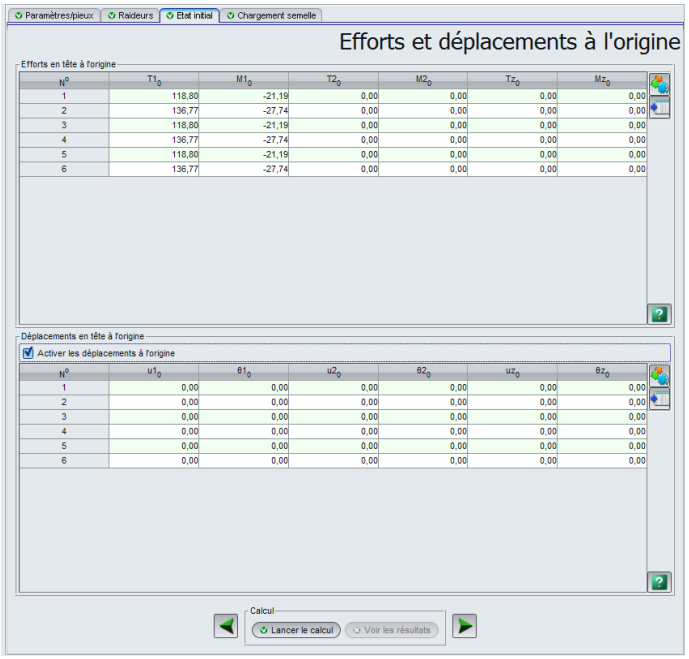


Figure H 18 : Onglet "Etat initial"

L'état initial peut être exprimé par des efforts (option par défaut) ou des déplacements à l'origine. Si la définition de l'onglet "Raideurs" a été faite via l'assistant d'importation, les efforts à l'origine associés aux matrices de raideurs latérales sont renseignés automatiquement.

H.3.1.3.1. Cadre "Efforts en tête à l'origine"

Les éléments à définir sont présentés dans le tableau ci-dessous. On rappelle qu'elles sont exprimées dans le repère local du pieu (Pxyz)

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
$T1_0$: effort latéral à l'origine défini selon (Px)	kN	0	Toujours	Oui	-
$M1_0$: moment fléchissant à l'origine défini autour de (-Py)	kN.m	0	Toujours	Oui	-
$T2_0$: effort latéral à l'origine défini selon (Py)	kN	0	Toujours	Oui	-
$M2_0$: moment fléchissant à l'origine défini autour de (Px)	kN.m	0	Toujours	Oui	-
Tz_0 : effort axial à l'origine défini selon (Pz)	kN	0	Toujours	Oui	-
Mz_0 : moment de torsion à l'origine défini autour de (Pz)	kN.m	0	Toujours	Oui	-

Tableau H 5 : *Onglet "Etat initial" – Cadre "Efforts en tête à l'origine"*

H.3.1.3.2. Cadre "Déplacements en tête à l'origine"

Le tableau de valeurs est visible seulement si la case "Activer les déplacements en tête à l'origine" est cochée. Les paramètres à définir sont listés dans le tableau suivant :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
$u1_0$: déplacement horizontal à l'origine défini selon (Px)	m	0	Toujours	Oui	-
$\theta 1_0$: rotation à l'origine définie autour de (-Py)	rad	0	Toujours	Oui	-
$u2_0$: déplacement horizontal à l'origine défini selon (Py)	m	0	Toujours	Oui	-
$\theta 2_0$: rotation à l'origine définie autour de (Px)	rad	0	Toujours	Oui	-
uz_0 : déplacement vertical à l'origine défini selon (Pz)	m	0	Toujours	Oui	-
θz_0 : rotation à l'origine définie autour de (Pz)	rad	0	Toujours	Oui	-

Tableau H 6 : *Onglet "Etat initial" – Cadre "Déplacements en tête à l'origine"*

H.3.1.4. Onglet "Chargement semelle"

Cet onglet permet de définir un ou plusieurs cas de chargement exprimés au point O centre du repère global caractérisé par la cote de référence du projet. Un cas de chargement est défini par un torseur à six composantes (3 forces et 3 couples). Le torseur de déplacement résultant donne les 3 translations et 3 rotations de la semelle de liaison au centre du repère.

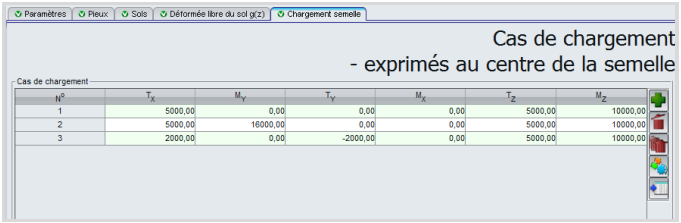


Figure H 19 : Onglet "Chargement semelle"

Le seul cadre disponible "Cas de chargement" permet de renseigner les éléments de réduction des torseurs d'efforts exprimés au point O. Le détail de saisie est indiqué dans le tableau ci-après.

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
T_X : effort horizontal selon (OX)	kN	0	Toujours	Oui	-
M_Y : moment autour de (OY)	kN.m				
T_Y : effort horizontal selon (OY)	kN				
M_X : moment autour de (OX)	kN.m				
T_Z : effort vertical selon (OZ)	kN				
M_Z : moment autour de (OZ)	kN.m				

Tableau H 7 : *Onglet "Chargement semelle" – Cadre "Cas de chargement"*

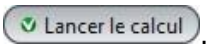
H.3.1.5. Calcul

Le calcul peut se lancer depuis n'importe quel onglet à partir du moment où le projet est correctement renseigné, c'est-à-dire lorsque tous les onglets sont marqués d'une coche verte (par exemple :

).

Un onglet est marqué d'une croix rouge (par exemple :

) tant qu'il n'est pas correctement complété (données manquantes ou non conformes aux valeurs attendues).

Pour lancer le calcul, cliquer sur le bouton 

.

Dans ce mode (Groupie Manuel), le calcul est quasi-instantané puisque les itérations sont gérées manuellement. Le temps de calcul est légèrement influencé par le nombre de pieux ou celui des cas de chargement.

H.3.1.6. Résultats

Groupie Manuel ne propose que des résultats numériques présentés sous forme de "Résultats formatés" et de "Tableaux de résultats".

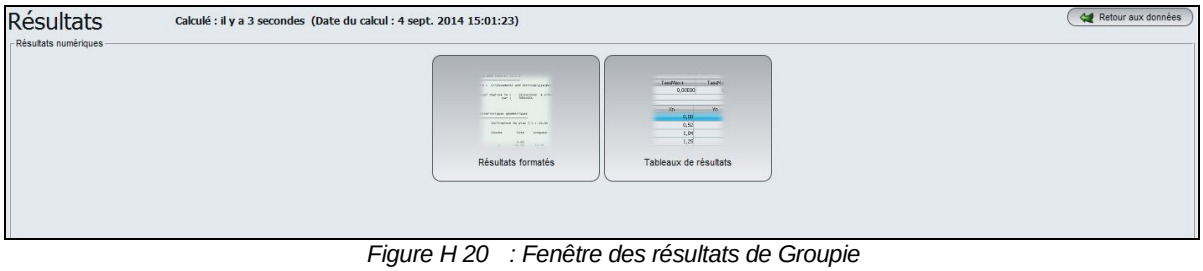
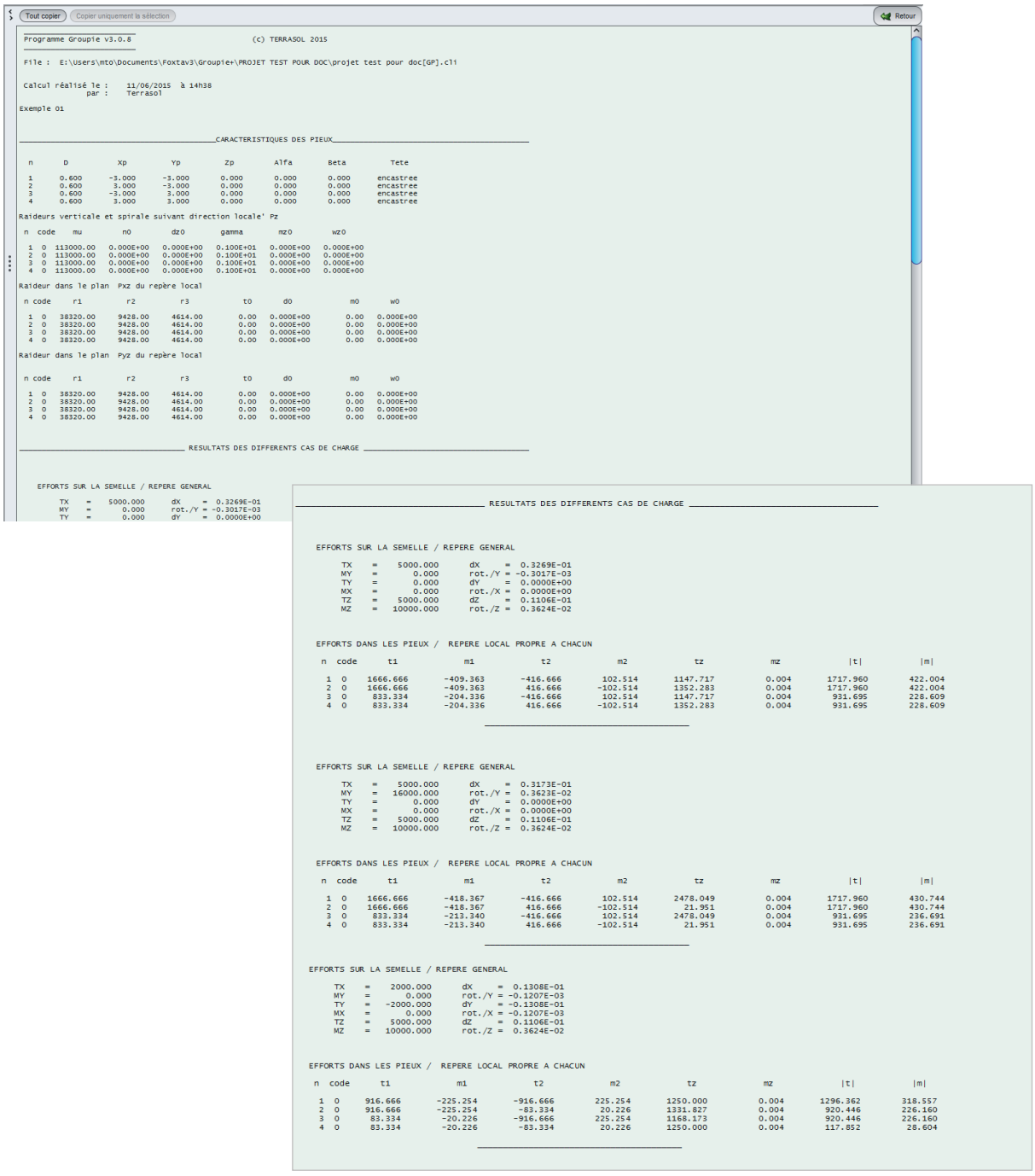


Figure H 20 : Fenêtre des résultats de Groupie

H.3.1.6.1. Résultats numériques : Résultats formatés

Ce type de résultat est accessible uniquement pour les calculs en mode Groupie Manuel.



```
Programme Groupie v3.0.8                    (c) TERRASOL 2015

File :  E:\Users\mto\Documents\Foxtav3\Groupie+\PROJET TEST POUR DOC\projet test pour doc[GP].cli

Calcul réalisé le :    11/06/2015  à 14h38
            par :    Terrasol

Exemple 01

_____CARACTERISTIQUES DES PIEUX_____

 n       D          Xp         Yp         Zp        Alfa       Beta        Tete

 1      0.600      -3.000     -3.000      0.000      0.000      0.000      encastree
 2      0.600       3.000     -3.000      0.000      0.000      0.000      encastree
 3      0.600      -3.000      3.000      0.000      0.000      0.000      encastree
 4      0.600       3.000      3.000      0.000      0.000      0.000      encastree

Raideurs verticale et spirale suivant direction locale' Pz

 n  code    mu         n0         dz0        gamma       mz0        wz0

 1  0  113000.00  0.000E+00  0.000E+00  0.100E+01  0.000E+00  0.000E+00
 2  0  113000.00  0.000E+00  0.000E+00  0.100E+01  0.000E+00  0.000E+00
 3  0  113000.00  0.000E+00  0.000E+00  0.100E+01  0.000E+00  0.000E+00
 4  0  113000.00  0.000E+00  0.000E+00  0.100E+01  0.000E+00  0.000E+00

Raideur dans le plan  Pxz du repère local

 n code     r1         r2         r3          t0       d0          m0       w0

 1  0   38320.00   9428.00   4614.00        0.00  0.000E+00        0.00  0.000E+00
 2  0   38320.00   9428.00   4614.00        0.00  0.000E+00        0.00  0.000E+00
 3  0   38320.00   9428.00   4614.00        0.00  0.000E+00        0.00  0.000E+00
 4  0   38320.00   9428.00   4614.00        0.00  0.000E+00        0.00  0.000E+00

Raideur dans le plan  Pyz du repère local

 n code     r1         r2         r3          t0       d0          m0       w0

 1  0   38320.00   9428.00   4614.00        0.00  0.000E+00        0.00  0.000E+00
 2  0   38320.00   9428.00   4614.00        0.00  0.000E+00        0.00  0.000E+00
 3  0   38320.00   9428.00   4614.00        0.00  0.000E+00        0.00  0.000E+00
 4  0   38320.00   9428.00   4614.00        0.00  0.000E+00        0.00  0.000E+00


_____ RESULTATS DES DIFFERENTS CAS DE CHARGE _____


  EFFORTS SUR LA SEMELLE / REPERE GENERAL

       TX    =    5000.000      dX     =  0.3269E-01
       MY    =       0.000      rot./Y = -0.3017E-03
       TY    =       0.000      dY     =  0.0000E+00
```

```
_____ RESULTATS DES DIFFERENTS CAS DE CHARGE _____

 EFFORTS SUR LA SEMELLE / REPERE GENERAL

      TX    =    5000.000      dX     =  0.3269E-01
      MY    =       0.000      rot./Y = -0.3017E-03
      TY    =       0.000      dY     =  0.0000E+00
      MX    =       0.000      rot./X =  0.0000E+00
      TZ    =    5000.000      dZ     =  0.1106E-01
      MZ    =   10000.000      rot./Z =  0.3624E-02

 EFFORTS DANS LES PIEUX /  REPERE LOCAL PROPRE A CHACUN

  n  code      t1          m1          t2          m2          tz          mz          |t|         |m|

  1  0    1666.666     -409.363     -416.666      102.514    1147.717       0.004    1717.960     422.004
  2  0    1666.666     -409.363      416.666     -102.514    1352.283       0.004    1717.960     422.004
  3  0     833.334     -204.336     -416.666      102.514    1147.717       0.004     931.695     228.609
  4  0     833.334     -204.336      416.666     -102.514    1352.283       0.004     931.695     228.609

 EFFORTS SUR LA SEMELLE / REPERE GENERAL

      TX    =    5000.000      dX     =  0.3173E-01
      MY    =   16000.000      rot./Y =  0.3623E-02
      TY    =       0.000      dY     =  0.0000E+00
      MX    =       0.000      rot./X =  0.0000E+00
      TZ    =    5000.000      dZ     =  0.1106E-01
      MZ    =   10000.000      rot./Z =  0.3624E-02

 EFFORTS DANS LES PIEUX /  REPERE LOCAL PROPRE A CHACUN

  n  code      t1          m1          t2          m2          tz          mz          |t|         |m|

  1  0    1666.666     -418.367     -416.666      102.514    2478.049       0.004    1717.960     430.744
  2  0    1666.666     -418.367      416.666     -102.514      21.951       0.004    1717.960     430.744
  3  0     833.334     -213.340     -416.666      102.514    2478.049       0.004     931.695     236.691
  4  0     833.334     -213.340      416.666     -102.514      21.951       0.004     931.695     236.691

 EFFORTS SUR LA SEMELLE / REPERE GENERAL

      TX    =    2000.000      dX     =  0.1308E-01
      MY    =       0.000      rot./Y = -0.1207E-03
      TY    =   -2000.000      dY     = -0.1308E-01
      MX    =       0.000      rot./X = -0.1207E-03
      TZ    =    5000.000      dZ     =  0.1106E-01
      MZ    =   10000.000      rot./Z =  0.3624E-02

 EFFORTS DANS LES PIEUX /  REPERE LOCAL PROPRE A CHACUN

  n  code      t1          m1          t2          m2          tz          mz          |t|         |m|

  1  0     916.666     -225.254     -916.666      225.254    1250.000       0.004    1296.362     318.557
  2  0     916.666     -225.254      -83.334       20.226    1331.827       0.004     920.446     226.160
  3  0      83.334      -20.226     -916.666      225.254    1168.173       0.004     920.446     226.160
  4  0      83.334      -20.226      -83.334       20.226    1250.000       0.004     117.852      28.604
```

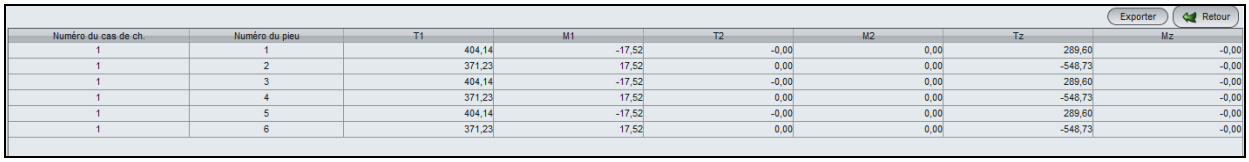
Figure H 21 : Résultats formatés de Groupie manuel

Les résultats formatés contiennent :

- Un rappel des caractéristiques des pieux :
  - Définition des pieux (disposition, orientation et type de liaison) ;
  - Raideurs verticale et spirale suivant la direction locale (Pz) ;
  - Raideurs dans le plan (Pxz) du repère local ;
  - Raideurs dans le plan (Pyz) du repère local.
- Les résultats des différents cas de charge :
  - Efforts sur la semelle et déplacements au centre de la semelle / repère général ;
  - Efforts en tête des pieux / repère local propre à chacun.

H.3.1.6.2. Résultats numériques : Tableaux de résultats

Ce tableau contient les efforts en tête des pieux obtenus suite au calcul Groupie Manuel. Ces valeurs apparaissent déjà dans les Résultats formatés, par contre il n'était pas possible de les exporter sous format tabulaire. Le présent tableau est créé à cet effet.



Numéro du cas de ch.	Numéro du pieu	T1	M1	T2	M2	Tz	Mz
1	1	404,14	-17,52	-0,00	0,00	289,60	-0,00
1	2	371,23	17,52	0,00	0,00	-548,73	-0,00
1	3	404,14	-17,52	-0,00	0,00	289,60	-0,00
1	4	371,23	17,52	0,00	0,00	-548,73	-0,00
1	5	404,14	-17,52	-0,00	0,00	289,60	-0,00
1	6	371,23	17,52	0,00	0,00	-548,73	-0,00

Figure H 22 : Tableau des résultats de Groupie

Le détail du tableau de résultats est présenté ci-dessous :

Désignation	**Unité**	**Condition d'affichage**
T1 : effort latéral en tête – direction x	kN	Toujours
M1 : moment de flexion en tête – direction x	kN.m	
T2 : effort latéral en tête – direction y	kN	
M2 : moment de flexion en tête – direction y	kN.m	
Tz : effort axial en tête – direction z	kN	
Mz : moment de torsion en tête – autour de z	kN.m	

Tableau H 8 : *Détail des résultats numériques de Groupie*

Ces efforts en tête sont exprimés dans le repère local de chaque pieu. Les résultats complémentaires (déformées et sollicitations internes dans les pieux) peuvent être évaluées en post-traitement, après convergence du calcul Groupie Manuel, en injectant les efforts en têtes dans les modèles Taspie+ et Piecoef+.

H.3.2. Mode Groupie+ Automatique

H.3.2.1. Onglet "Paramètres"

Sélectionner le mode Groupie+ Automatique en cliquant sur le bouton .

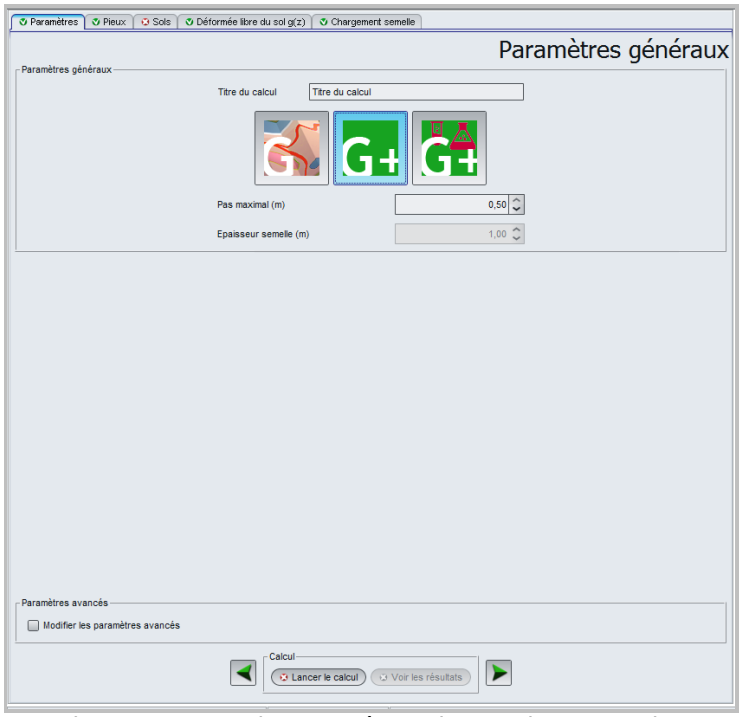


Figure H 23 : Onglet "Paramètres" de Groupie+ Automatique

Cet onglet est composé de deux cadres :

- Paramètres généraux ;
- Paramètres avancés (caché par défaut).

H.3.2.1.1. Cadre "Paramètres généraux"

Dans ce cadre, Groupie+ Automatique demande les renseignements suivants :

- Titre du calcul ;
- Mode Groupie+ Automatique : sélectionné ;
- Pas maximal (m) : longueur maximale des subdivisions de pieux (valeur de 0,5 m par défaut) ;
- Epaisseur de la semelle (m) : semelle parfaitement rigide.

H.3.2.1.2. Cadre "Paramètres avancés"

Si la case "Modifier les paramètres avancés" est activée, les champs suivants s'affichent :

- Nombre d'incréments du torseur de charge global ;
- Tolérance relative utilisée pour le contrôle de convergence ;
- Nombre maximal d'itérations ;
- Utiliser l'azimut : si cette option est activée, la définition du pendage des couches de sol se fait à l'aide d'un angle d'azimut et d'un angle de pendage au lieu des angles projetés sur les axes (OY) et (OX). Cette option est exclusive à ce mode ;
- Utiliser un algorithme optimisé : résolution ultra rapide en comparaison avec la situation par défaut.

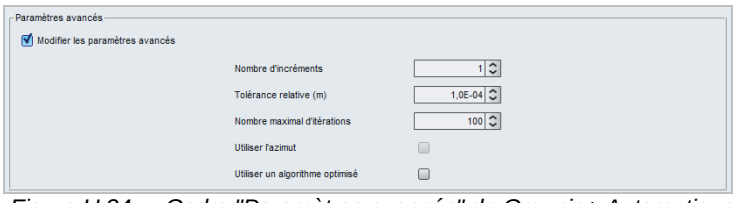


Figure H 24 : Cadre "Paramètres avancés" de Groupie+ Automatique

H.3.2.2. Onglet "Pieux"

Cet onglet permet la saisie des paramètres définissant les pieux.

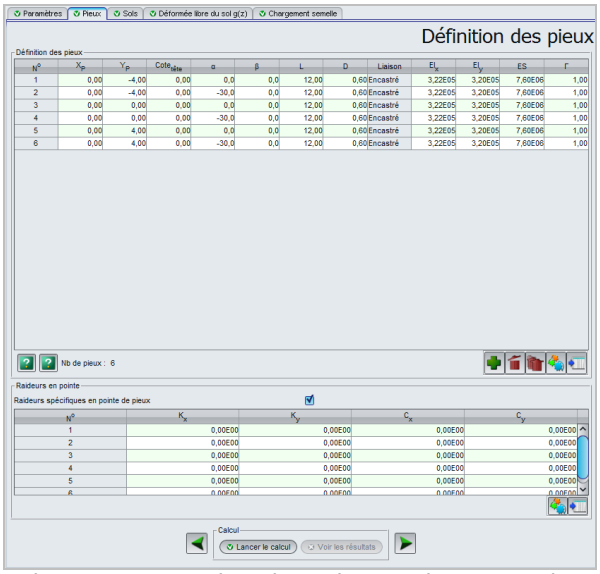


Figure H 25 : Onglet "Pieux" de Groupie+ Automatique

Il est nécessaire de renseigner les paramètres géométriques (comme pour Groupie Manuel), mais également les caractéristiques mécaniques des pieux.

On rappelle que dans ce mode chaque pieu est caractérisé par une section uniforme tout le long de son fût, c'est d'ailleurs pour cette raison la définition des domaines pieux et sols se fait de manière indépendante.

Cet onglet contient deux cadres :

- Définition des pieux ;
- Raideurs en pointe (caché par défaut).

H.3.2.2.1. Cadre "Définition des pieux"

Les conventions d'orientation des pieux sont analogues à celles utilisées dans le mode Groupie Manuel.

Rappelons que l'onglet "Pieux" reste marqué d'une croix rouge tant que l'onglet suivant "Sols" n'est pas encore complété. En effet, FoXta vérifie que les pointes des pieux ne soient pas hors du sol.

Il convient de noter que si la tête d'un pieu a une cote strictement inférieure à la cote de référence, cette dernière est reliée de manière parfaitement rigide à la semelle de liaison. Le cas contraire n'est pas possible.

Il y a lieu de définir les caractéristiques de pieux qui sont détaillées dans le tableau ci-après.

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
X_P : abscisse de la tête du pieux – repère global	M	0,00	Toujours	Oui	-
Y_P : ordonnée de la tête du pieux – repère global					
$Cote_{tête}$: cote de la tête du pieu lue sur la verticale ascendante					
α : angle d'inclinaison du pieu par rapport à l'axe (OZ)	°	0,00	Toujours	Oui	-
β : orientation autour de l'axe (OZ)					
L : longueur de pieu	M	0,00	Toujours	Oui	> 0 et ≤ à profondeur du terrain
D : diamètre de la section du pieu (*)	M	0,00	Toujours	Oui	> 0
Liaison : articulé ou encastré	-	Encastré	Groupie+	Oui	-
EI_x : produit d'inertie du pieu dans la direction x – repère local	kN.m²	0,00	Toujours	Oui	≥ 0
EI_y : produit d'inertie du pieu dans la direction y – repère local	kN.m²				
ES : rigidité axiale du pieu – repère local	kN				
Γ : raideur à la torsion équivalente en tête - repère local	kN.m/ rad				

Tableau H 9 : *Onglet "Pieux" – Cadre "Définition des pieux"*

(*) Contrairement au mode Groupie Manuel, le diamètre du pieu est un paramètre déterminant pour le calcul de la fondation.

H.3.2.2.2. Cadre "Raideurs en pointe"

Ce cadre permet de rajouter des raideurs latérales en pointe des pieux. Ces raideurs sont définies dans le repère local associé à chaque pieu. Si la case "Raideurs spécifiques en pointe de pieux" est cochée, Groupie+ demande de renseigner les données suivantes :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
K_x : raideur de rappel ponctuelle en translation latérale dans la direction x	kN/m	0	Toujours	Oui	≥ 0
K_y : raideur de rappel ponctuelle en translation latérale dans la direction y	kN/m	0	Toujours	Oui	≥ 0
C_x : raideur de rappel ponctuelle en rotation dans la direction x	kN.m/rad	0	Toujours	Oui	≥ 0
C_y : raideur de rappel ponctuelle en rotation dans la direction y	kN.m/rad	0	Toujours	Oui	≥ 0

Tableau H 10 : *Onglet "Pieux" – Cadre "Raideurs en pointe"*

H.3.2.3. Onglet "Sols"

Cet onglet sert pour la définition du modèle de sol pour un calcul en mode Groupie+ Automatique. Il est composé d'un cadre permanent "Définition du sol" et d'un cadre "Lois" à affichage conditionnel.

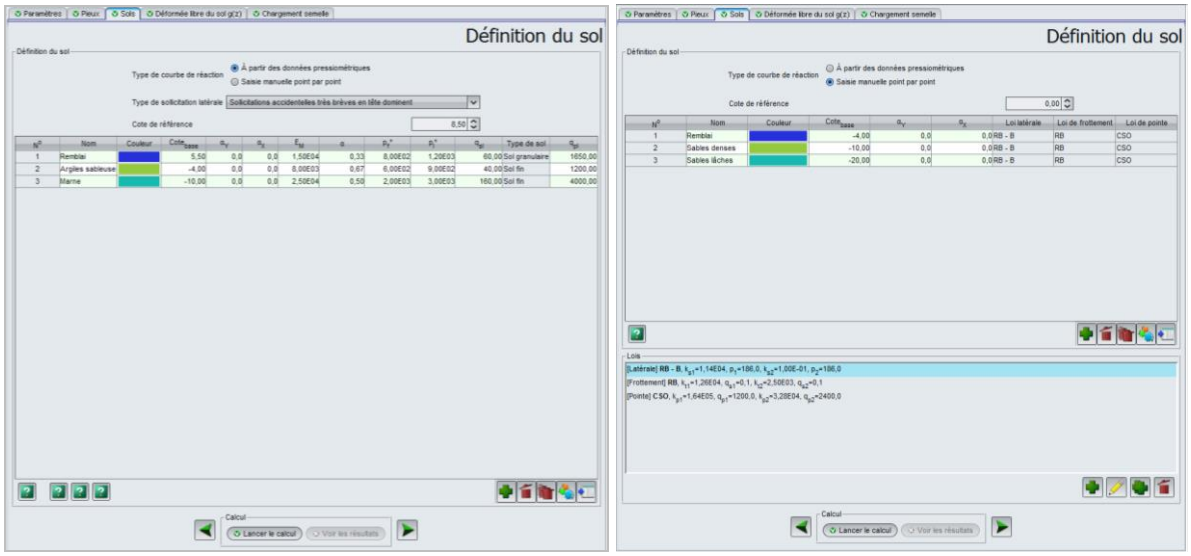


Figure H 26 : Onglet "Sols"

H.3.2.3.1. Cadre "Définition du sol"

La première option consiste à choisir le type des courbes de transfert "p-y" et "t-z". Les lois de transfert peuvent être définies de deux façons :

- "A partir des données pressiométriques"
- "Saisie manuelle point par point".

Le cadre théorique de ces lois (forme générale, définition des paramètres) est présenté dans la notice technique disponible au début de ce manuel.

S'il a été choisi de définir les courbes de réaction "A partir des données pressiométriques", il faut préciser le "Type de sollicitation latérale" qui domine. Quatre choix sont possibles :

- Sollicitations permanentes en tête dominent ;
- Sollicitations dues aux poussées latérales du sol dominent ;
- Sollicitations de courte durée en tête dominent ;
- Sollicitations accidentelles très brèves en tête dominent.

Le deuxième paramètre important est la cote de référence du projet (en mètre).

Le tableau suivant décrit les paramètres de sol à saisir. Certaines colonnes font appel aux lois décrites dans le cadre "Lois" décrit plus bas.

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
$Cote_{base}$: cote de la base lue sur la verticale ascendante	m	0	Toujours	Oui	Les cotes ne se chevauchent pas et sont strictement décroissantes
α_Y : pendage de la base de la couche autour de (OY) – repère global	°	0	Toujours	Oui	-
α_X : pendage de la base de la couche autour de (OX) – repère global	°	0	Toujours	Oui	-

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
E_M : module pressiométrique	kPa	0	A partir des données pressioémtriques	Oui	≥ 0
α : coefficient rhéologique de Ménard	-	0		Oui	$0 < \alpha \leq 1$
p_f* : pression de fluage nette	kPa	0		Oui	≥ 0
p_l* : pression limite nette	kPa	0		Oui	≥ p_f
q_{sl} : frottement axial limite	kPa	0		Oui	≥ 0
Type de sol : fin ou granulaire	-	Sol fin		Oui	-
q_{pl} : contrainte limite en pointe	kPa	0		Oui	≥ 0
Loi latérale : loi de réaction latérale - repère local	-	-	Saisie manuelle point par point	Oui	-
Loi de frottement : loi de frottement axial - repère local	-	-		Oui	-
Loi de pointe : loi de l'effort en pointe – repère local	-	-		Oui	-

Tableau H 11 : *Onglet "Sols" – Cadre "Définition des sols"*

H.3.2.3.2. Cadre "Lois"

Ce cadre apparait uniquement si les courbes de transfert sont définies par "Saisie manuelle point par point", auquel cas il convient de créer des lois qui seront utilisées lors de la définition des sols.

Pour ajouter une loi :

- cliquer sur le bouton ;

Pour éditer une loi :

- double-cliquer sur la ligne correspondante

Ou

- la sélectionner et cliquer sur le bouton "Editer" .

Pour dupliquer une loi :

- sélectionner la loi souhaitée ;
- un clic sur le bouton : la loi est dupliquée à l'identique, seul le nom de la loi est numéroté de manière à les distinguer l'une de l'autre.

Deux options sont possibles pour la définition d'une loi.

Données manuelles

Les paramètres des lois (pentes et paliers) sont définis de manière explicite. Ceci concerne les trois types de lois : réaction latérale, frottement axial et effort en pointe.

Loi de type "Latérale" :

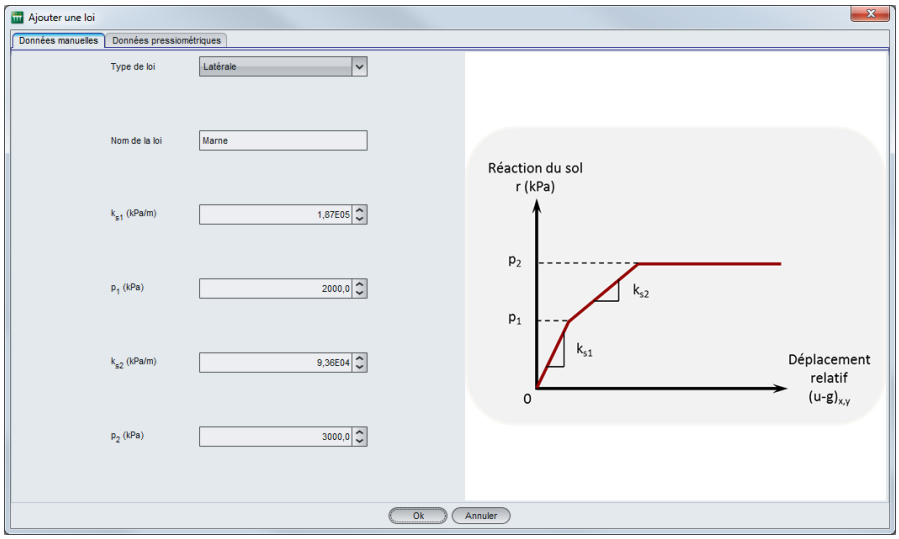


Figure H 27 : Données manuelles – Loi de type "Latérale"

Loi de type "Frottement" :

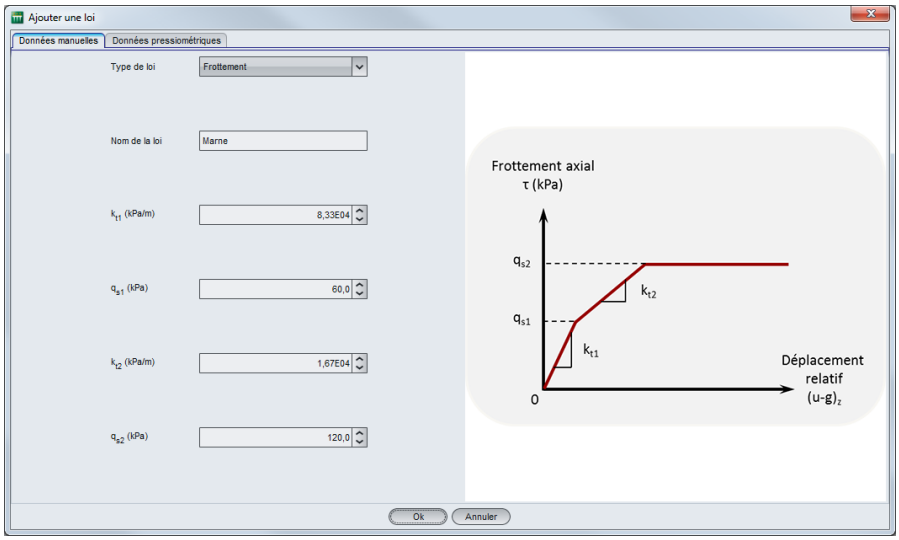


Figure H 28 : Données manuelles – Loi de type "Frottement"

Loi de type "Pointe" :

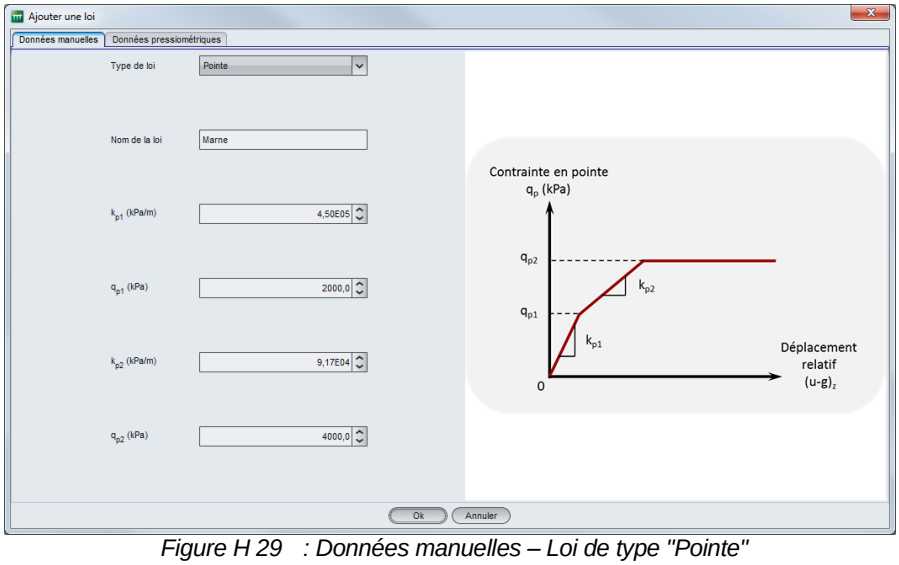


Figure H 29 : Données manuelles – Loi de type "Pointe"

Le tableau ci-dessous décrit les différents paramètres des lois définies par des "Données manuelles" :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
Nom de la loi	-	-	Toujours	Oui	Nom distinct et non vide
$\mathbf{k_{s1}}$: coefficient de réaction au 1er palier	kPa/m	0	Loi de type "Latérale"	Oui	-
$\mathbf{p_1}$: pression de plastification au 1er palier	kPa				
$\mathbf{k_{s2}}$: coefficient de réaction au 2ème palier	kPa/m				
$\mathbf{p_2}$: pression de plastification au 2ème palier	kPa				
$\mathbf{k_{t1}}$: 1ère pente de la courbe de mobilisation de frottement	kPa/m	0	Loi de type "Frottement"	Oui	-
$\mathbf{q_{s1}}$: 1er palier de la courbe de mobilisation de frottement	kPa				
$\mathbf{k_{t2}}$: 2ème pente de la courbe de mobilisation de frottement	kPa/m				
$\mathbf{q_{s2}}$: 2ème palier de la courbe de mobilisation de frottement	kPa				
$\mathbf{k_{p1}}$: 1ère pente de la courbe de mobilisation de l'effort en pointe	kPa/m	0	Loi de type "Pointe"	Oui	-
$\mathbf{q_{p1}}$: 1er palier de la courbe de mobilisation de l'effort en pointe	kPa				
$\mathbf{k_{P2}}$: 2ème pente de la courbe de mobilisation de l'effort en pointe	kPa/m				
$\mathbf{q_{p2}}$: 2ème palier de la courbe de mobilisation de l'effort en pointe	kPa				

Tableau H 12 : *Onglet "Sols" - Définition des lois : Données manuelles*

Données pressiométriques

Les paramètres des lois (pentes et paliers) sont définis indirectement sur la base des données pressiométriques. Les trois types de lois sont possibles.
Loi de type "Latérale" (4 types de sollicitations différentes) :

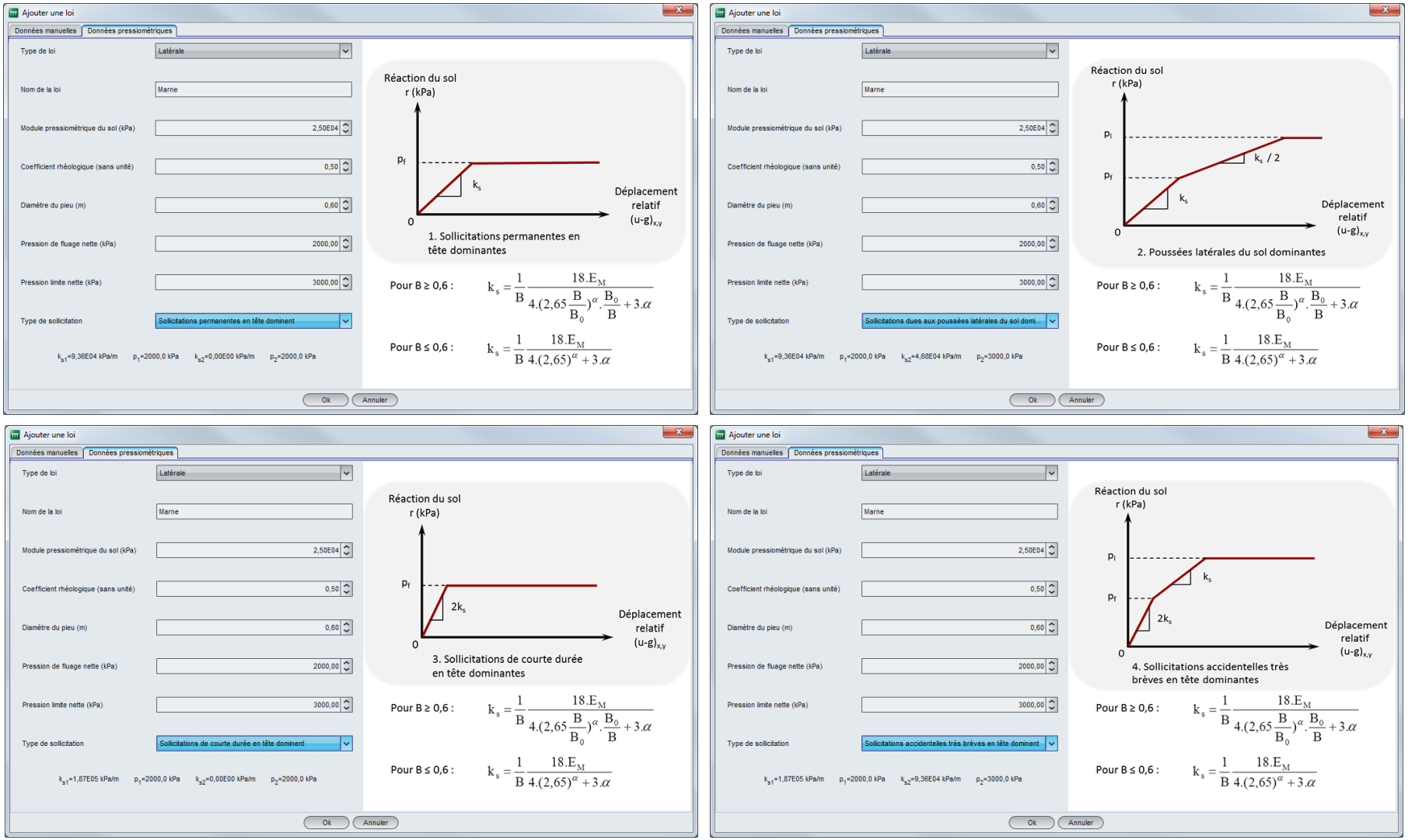


Figure H 30 : Données pressiométriques – Loi de type "Latérale"

*Edition Juin 2015 - **Copyright © FoXta v3 - 2011***

Loi de type "Frottement" (deux types de sol différents) :

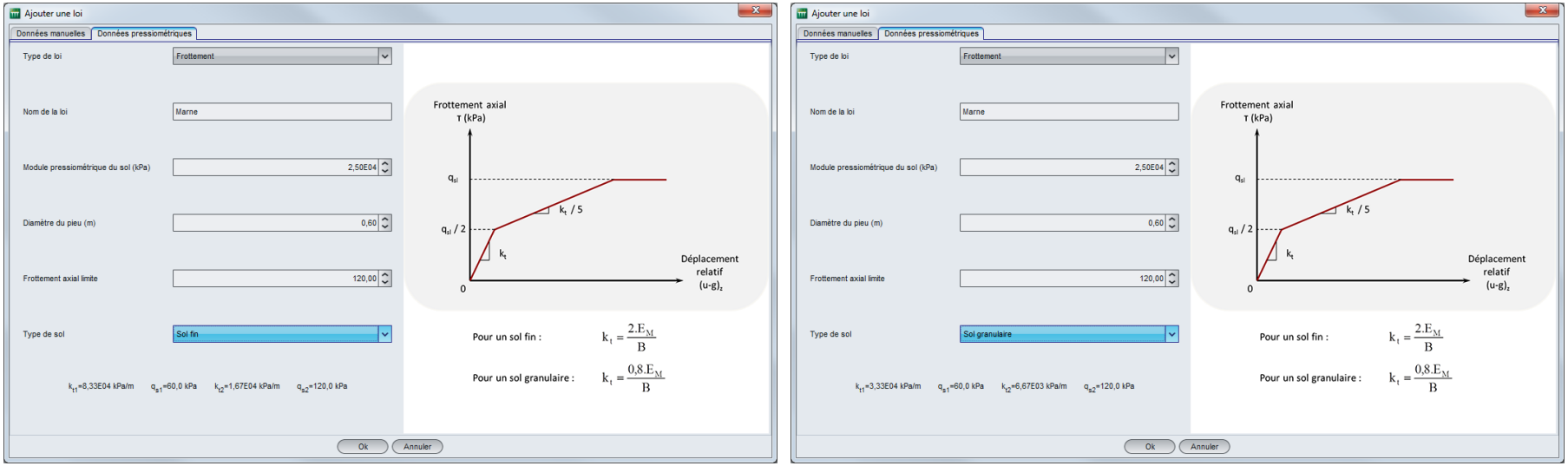


Figure H 31 : Données pressiométriques – Loi de type "Frottement"

Loi de type "Pointe" (deux types de sol différents) :

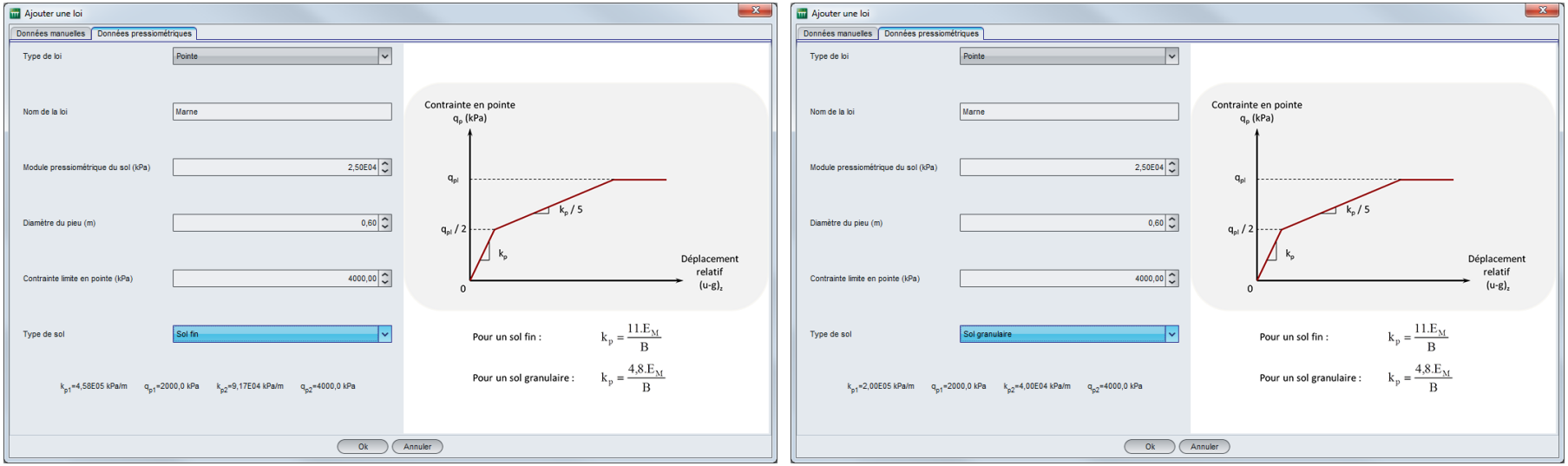


Figure H 32 : Données pressiométriques – Loi de type "Pointe"

Le tableau ci-dessous décrit les différents paramètres des lois basées sur des "Données pressiométriques" :

Désignation	**Unité**	**Valeur par défaut**	**Condition d'affichage**	**Valeur obligatoire**	**Contrôles locaux**
Nom de la loi	-	-	Toujours	Oui	Nom distinct et non vide
Module pressiométrique	kPa	0	Toujours	Oui	-
Diamètre du pieu	m	0	Toujours	Oui	> 0
Coefficient rhéologique de Ménard	-	0	Loi de type "Latérale"	Oui	$0 < \alpha \leq 1$
Pression de fluage nette	kPa	0	Loi de type "Latérale"	Oui	> 0
Pression limite nette	kPa	0	Loi de type "Latérale"	Oui	> 0
Type de sollicitations (1)	-	Permanentes en tête dominent	Loi de type "Latérale"	Oui	-
Frottement axial limite	kPa	0	Loi de type "Frottement"	Oui	-
Contrainte limite en pointe	kPa	0	Loi de type "Pointe"	Oui	-
Type de sol (2)	-	Sol fin	Loi de type "Frottement" ou "Pointe"	Oui	-

Tableau H 13 : *Onglet "Sols" – Définition des lois : Données pressiométriques*

Remarques :

1. Pour les lois de type "Latérale"

   Le champ "Type de sollicitation" propose le choix entre quatre valeurs :

   - sollicitations permanentes en tête dominent ;
   - sollicitations dues aux poussées latérales du sol dominent ;
   - sollicitations de courte durée en tête dominent ;
   - sollicitations accidentelles très brèves en tête dominent.

   En fonction du type de sollicitation choisi, le programme calcule et affiche les valeurs de k_{s1}, p_1, k_{s2} et p_2 en bas de l'onglet. La signification de ces paramètres est mentionnée sur le schéma affiché dans la partie droite de l'assistant.

2. Pour les lois de type "Frottement" et "Pointe"

   Le champ "Type de sol" propose le choix entre deux valeurs :

   - sol fin ;
   - sol granulaire.

   En fonction du type de sol choisi, le programme calcule et affiche en bas de chaque onglet :

   - les valeurs de k_{t1}, q_{s1}, k_{t2} et q_{s2} en bas de l'onglet de la loi "Frottement" ;
   - les valeurs k_{p1}, q_{p1}, k_{p2} et q_{p2} en bas de l'onglet de la loi "Pointe".

   La signification de ces paramètres est indiquée sur le schéma présenté en partie droite de l'assistant.

Quatre figures d'aide sont disponibles.

- Figure consultable quel que soit le type des courbes de réaction :
  - Pendage des couches : conventions à adopter pour la définition d'une couche de sol dont la base n'est pas horizontale.

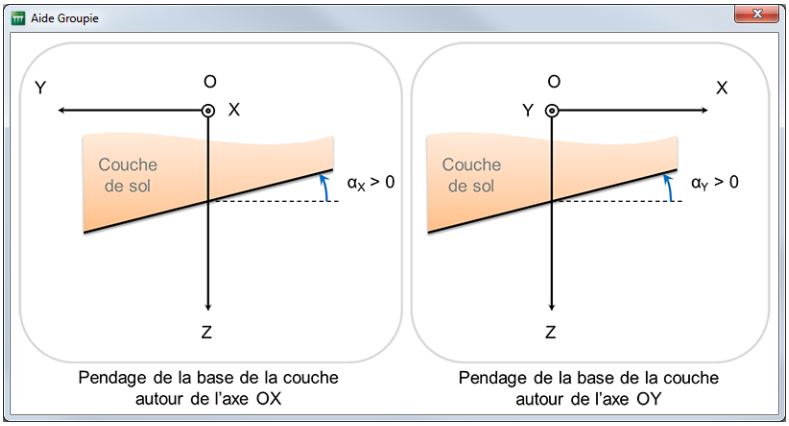


Figure H 33 : Figure d'aide pour le pendage des couches

- Figures accessibles exclusivement si l'option "A partir des données pressiométriques" est choisie. Elles indiquent la forme de la loi de transfert en fonction des sollicitations latérales dominantes (loi de réaction latérale) ou du type de sol (loi de frottement et de l'effort en pointe).
  - Loi latérale

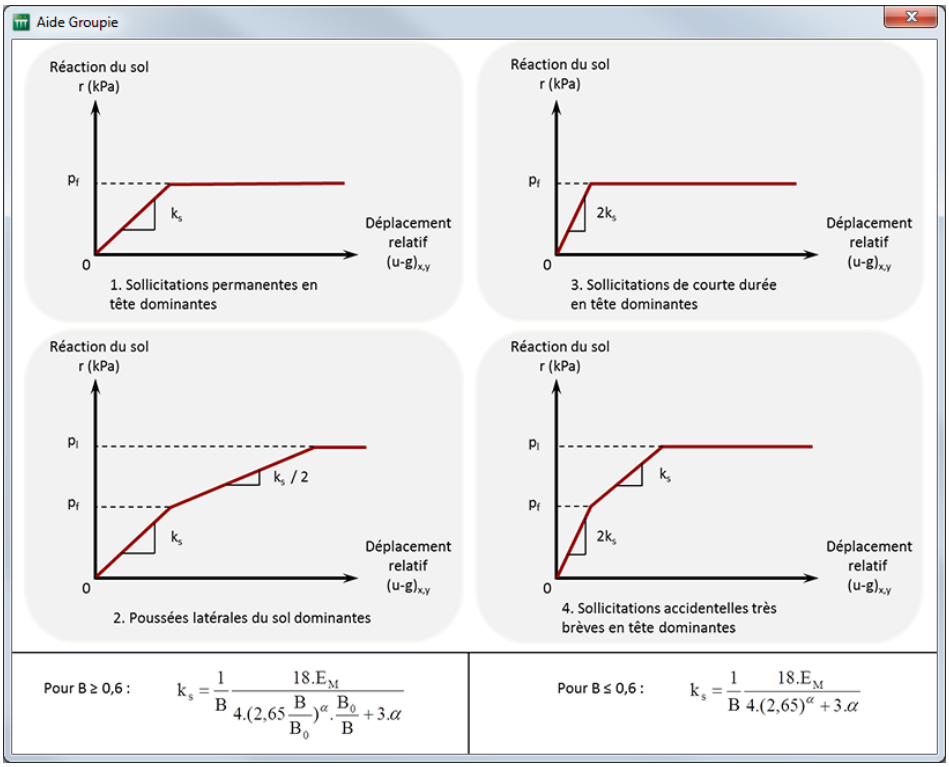


Figure H 34 : Figure d'aide pour la loi latérale

- Loi de frottement

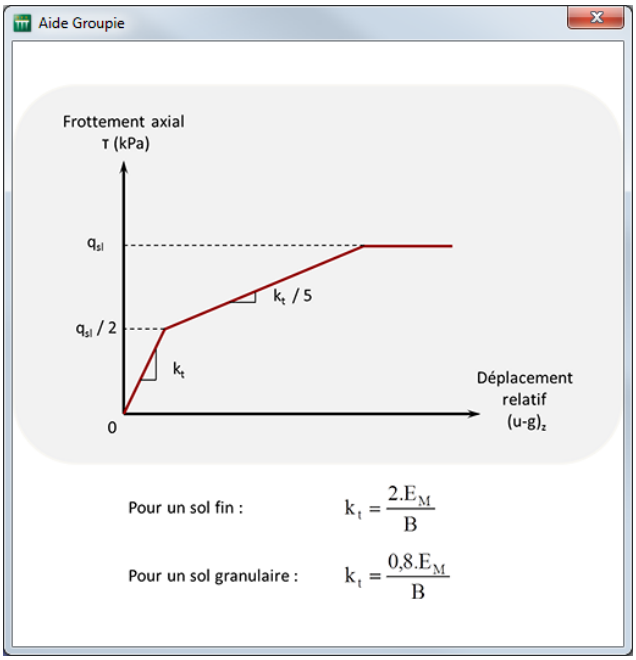


Figure H 35 : Figure d'aide pour la loi de frottement

- Loi de pointe

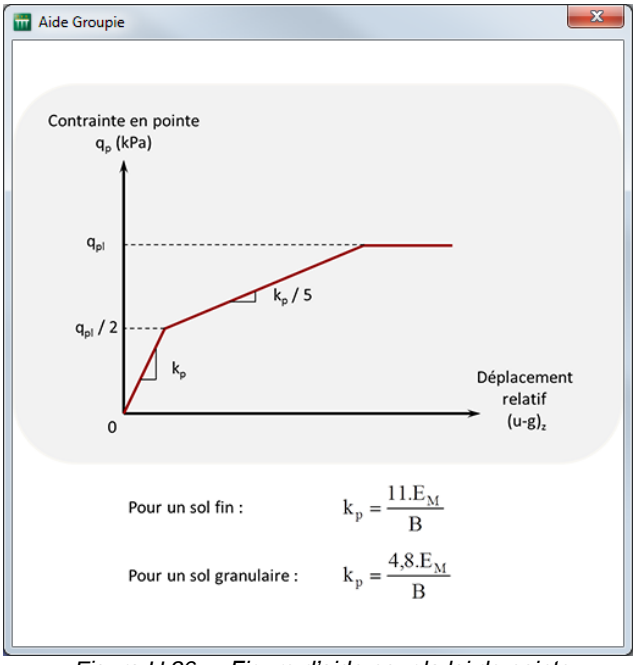


Figure H 36 : Figure d'aide pour la loi de pointe

H.3.2.4. Onglet "Déformée libre du sol g(z)"

Cette fonctionnalité (optionnelle) permet de définir une déformée globale du sol dans les trois directions de l'espace. Elle peut être utilisée pour simuler :

- Une déformée libre latérale g(z) du sol : c'est un champ de déplacement horizontal défini dans le repère global par des composantes selon X ou Y dont l'amplitude ne dépend que de la cote (donc implicitement de Z).

  Cette déformée se développe généralement au sein d'une couche compressible sous l'effet d'un remblai réalisé après la mise en œuvre des pieux comme le schématise la figure ci-dessous (coupe orthogonale à X).

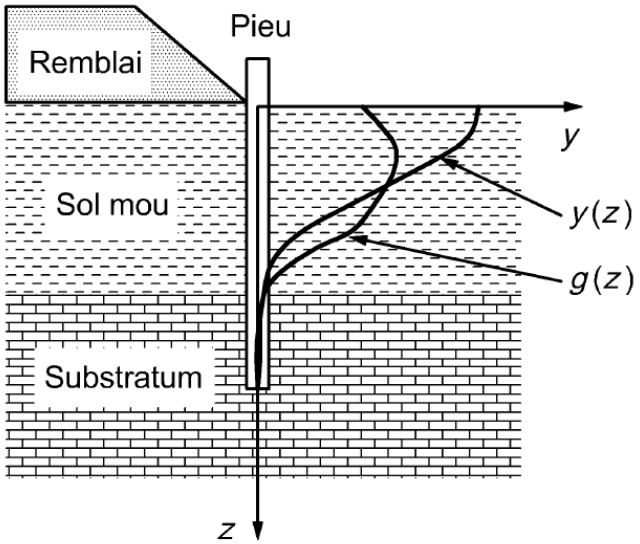


Figure H 37 : Déformée latérale du sol g(z)

- Un tassement imposé du sol $y_s(z)$: c'est un champ de déplacement vertical défini dans le repère global par une composante selon Z. L'amplitude de cette dernière ne dépend que de la cote.

  Le déplacement appliqué traduit un tassement imposé du sol autour des pieux, ce qui engendre la création d'un frottement négatif sur une partie de leurs fûts.

En pratique, la déformée globale est définie par le tableau ci-dessous. Les valeurs doivent être listées en respectant un ordre décroissant des cotes. Au moins deux lignes à cotes différentes sont à renseignées.

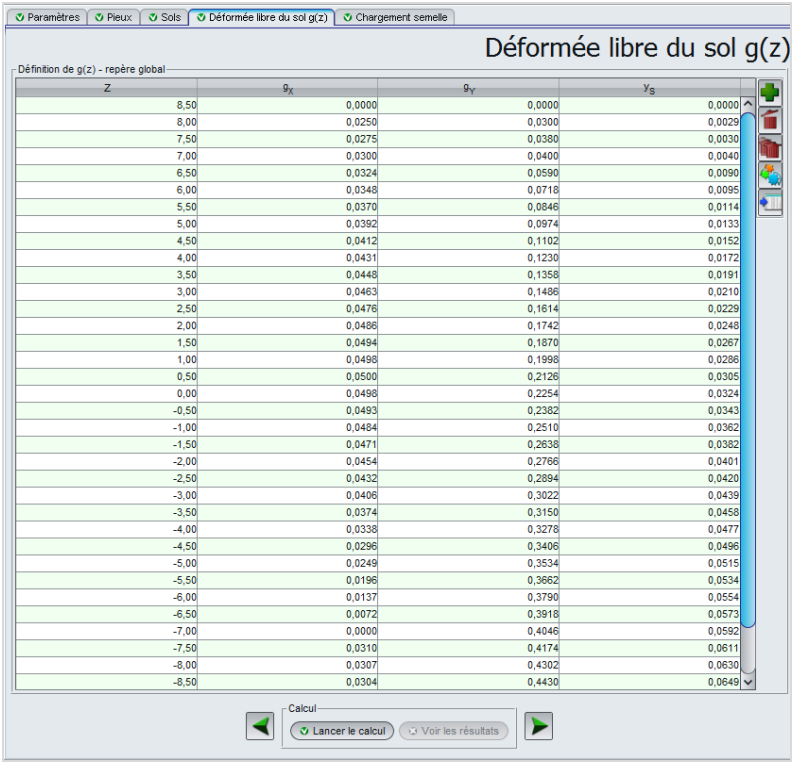


Figure H 38 : Onglet "Déformée libre du sol g(z)"

Cet onglet est composé d'un seul cadre "Définition de g(z)" qui peut être rempli via l'assistant d'importation décrit plus bas.

H.3.2.4.1. Cadre "Définition de g(z)"

Le tableau suivant décrit les propriétés à saisir dans cet onglet :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
Cote$_{g(z)}$: cote du point de définition	m	0	Toujours	Oui	-
g_X : déformée latérale du sol – direction X	m	0	Toujours	Oui	-
g_Y : déformée latérale du sol – direction Y	m	0	Toujours	Oui	-
y_S : tassement imposé du sol – direction Z	m	0	Toujours	Oui	-

Tableau H 14 : *Onglet "Déformée libre du sol g(z)" – Cadre "Définition de g(z)"*

H.3.2.4.2. Assistant d'importation

Il est également possible d'importer des données depuis un fichier externe (Excel par exemple) en utilisant l'assistant d'importation. Ce dernier est accessible dans plusieurs modules de FoXta.

Sélectionner les données à importer et les copier dans le presse-papiers de Windows.

- Cliquer sur l'assistant "Modification avancée de la table".

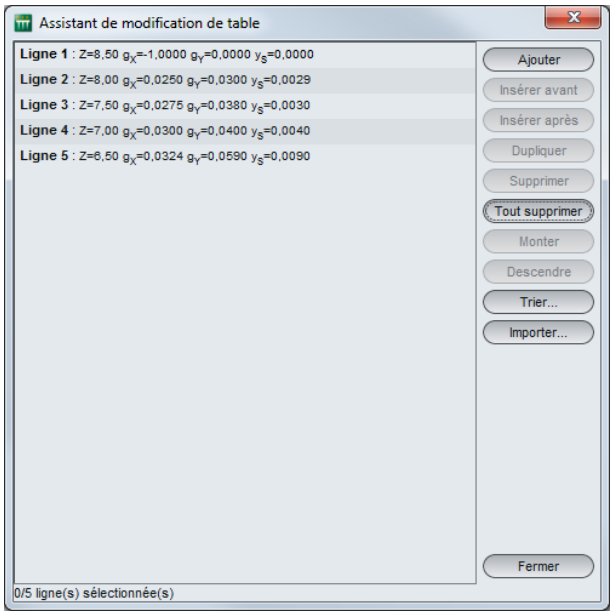
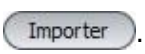


Figure H 39 : Assistant de modification de table

Si le cadre "Définition de g(z)" contenait déjà des lignes, elles s'afficheront automatiquement à l'intérieur de l'assistant.

- Cliquer sur le bouton 

.

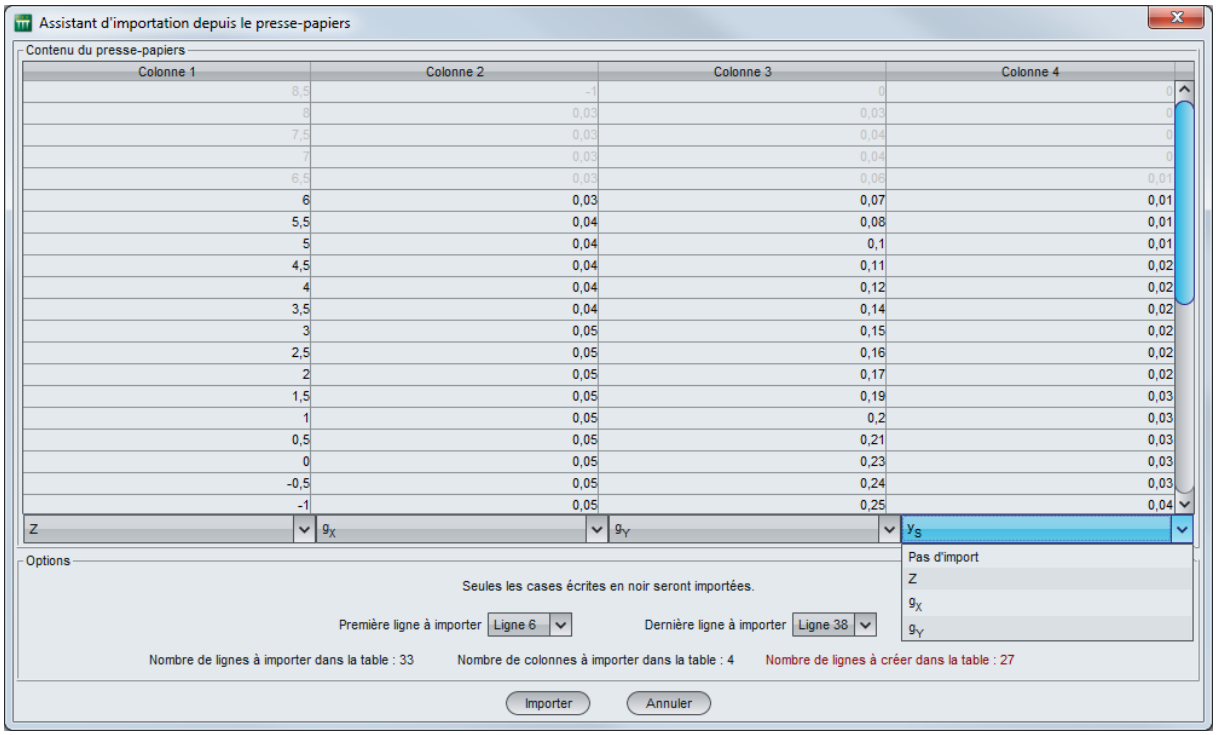


Figure H 40 : Assistant d'importation depuis le presse-papiers

Cadre "Contenu du presse-papiers"

L'assistant d'importation affiche automatiquement en noir les données à importer dans les quatre colonnes disponibles, qui correspondent aux quatre colonnes de l'onglet "Déformée libre du sol g(z)". Les données grisées seront ignorées.

En bas de chaque colonne, une liste déroulante permet d'établir la correspondance entre les données affichées issues du fichier à importer et les colonnes de l'onglet "Déformée libre du sol g(z)".

Cadre "Options"

A l'aide des listes déroulantes, il convient d'indiquer les lignes à importer : la première et la dernière.

Puis Groupie+ indique les informations suivantes (non modifiables) :

- le nombre de lignes à importer dans la table ;
- le nombre de colonnes à importer dans la table ;
- le nombre de lignes à créer dans la table.

Cliquer sur le bouton

. Les valeurs importées sont maintenant disponibles dans le projet.

H.3.2.5. Onglet "Chargement semelle"

Cet onglet permet de définir les cas de chargement auxquelles est soumise la semelle de liaison. Cet onglet est analogue à celui du mode Groupie Manuel décrit au paragraphe H.3.1.4.

H.3.2.6. Calcul

Le calcul peut se lancer depuis n'importe quel onglet à partir du moment où le projet est correctement renseigné, c'est-à-dire lorsque tous les onglets sont marqués d'une coche verte (par exemple :

).

Un onglet est marqué d'une croix rouge (par exemple : Pieux) tant qu'il n'est pas correctement complété (données manquantes ou non conformes aux valeurs attendues).

Pour lancer le calcul, cliquer sur le bouton Lancer le calcul.

Groupie+ Automatique permet de gérer des modèles dont le maillage des pieux a une taille de plusieurs milliers d'éléments. Cependant, on peut être limité par la taille maximale de mémoire pouvant être allouée au programme sous Microsoft Windows®, il est donc recommandé d'utiliser des maillages ne dépassant pas 2500 éléments.

Le processus général de calcul est mené selon les étapes suivantes :

1. Lecture des données ;
2. Construction du maillage ;
3. Mise en équation ;
4. Etude de chaque cas de charge :
   - Initialisation
   - Itérations
   - Calcul des déplacements, des réactions et sollicitations
5. Génération des fichiers de sortie ;
6. Fin du programme.

L'utilisateur est informé du déroulement et de l'avancement des différentes étapes du calcul dans la fenêtre suivante.

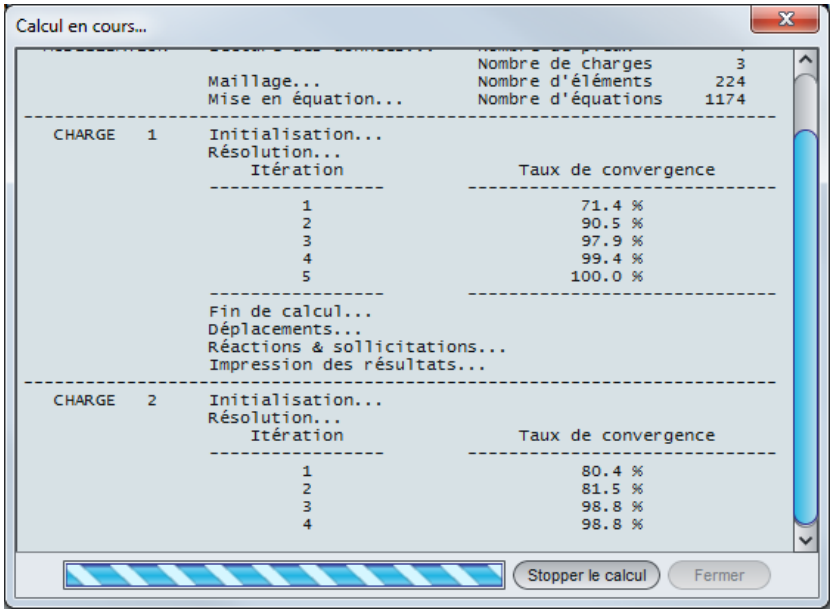


Figure H 41 : Fenêtre "Calcul en cours"

Pour afficher les résultats du calcul, cliquer sur le bouton Fermer le cas échéant, puis sur le bouton Voir les résultats.

H.3.2.7. Résultats

Groupie+ Automatique fournit des résultats numériques et graphiques. Les résultats disponibles sont présentés dans les paragraphes ci-après.

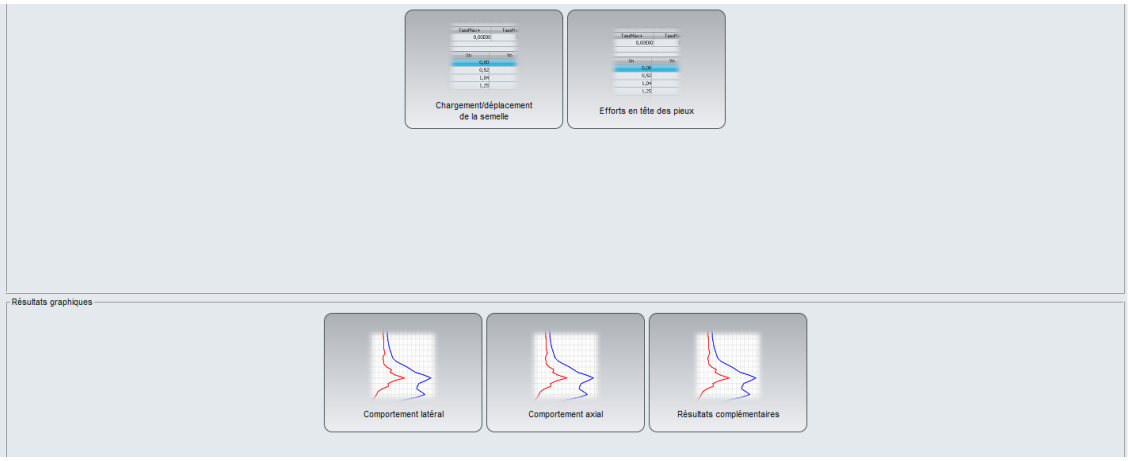


Figure H 42 : Fenêtre des résultats de Groupie+ Automatique

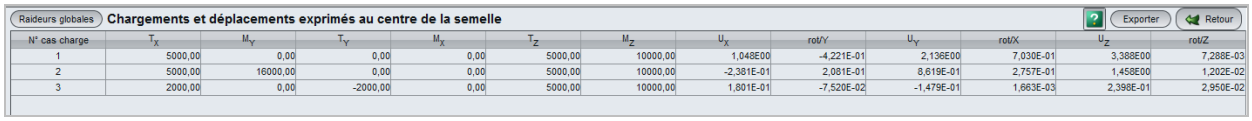
H.3.2.7.1. Résultats numériques

Résultats numériques : Tableaux de résultats

Cette fenêtre contient les déplacements de la semelle produit par chaque cas de chargement. Elle donne accès également aux raideurs globales de la semelle.

Chargements et déplacements de la semelle

C'est un tableau exportable qui donne pour chaque cas de chargement le torseur de déplacement résultant.



N° cas charge	T_X	M_Y	T_Y	M_X	T_Z	M_Z	U_X	rot/Y	U_Y	rot/X	U_Z	rot/Z
1	5000,00	0,00	0,00	0,00	5000,00	10000,00	1,048E00	-4,221E-01	2,136E00	7,030E-01	3,388E00	7,288E-03
2	5000,00	16000,00	0,00	0,00	5000,00	10000,00	-2,381E-01	2,081E-01	8,619E-01	2,757E-01	1,458E00	1,202E-02
3	2000,00	0,00	-2000,00	0,00	5000,00	10000,00	1,801E-01	-7,520E-02	-1,479E-01	1,663E-03	2,398E-01	2,950E-02

Figure H 43 : Résultats numériques - "Chargemements et déplacements de la semelle"

Le détail des différents éléments du tableau précédent est donné ci-dessous (l'ensemble est exprimé au centre O de la semelle).

Désignation (*)	**Unité**	**Condition d'affichage**
T_X : effort horizontal selon (OX)	kN	Toujours
M_Y : moment autour de (OY)	kN.m	
T_Y : effort horizontal selon (OY)	kN	
M_X : moment autour de (OX)	kN.m	
T_Z : effort vertical selon (OZ)	kN	
M_Z : moment autour de (OZ)	kN.m	
U_X : translation dans la direction X	m	Toujours
rot/Y : rotation autour de l'axe (OY)	rad	
U_Y : translation dans la direction Y	m	
rot/X : rotation autour de l'axe (OX)	rad	
U_Z : translation dans la direction Z	m	
rot/Z : rotation autour de l'axe (OZ)	rad	

Tableau H 15 : *Résultats numériques – "Chargement/déplacement de la semelle"*

Raideurs globales de la semelle

Un clic sur le bouton Raideurs globales fournit les matrices de raideurs globales de la fondation exprimées au centre de la semelle. Choisir le cas de charge souhaité dans la liste déroulante.

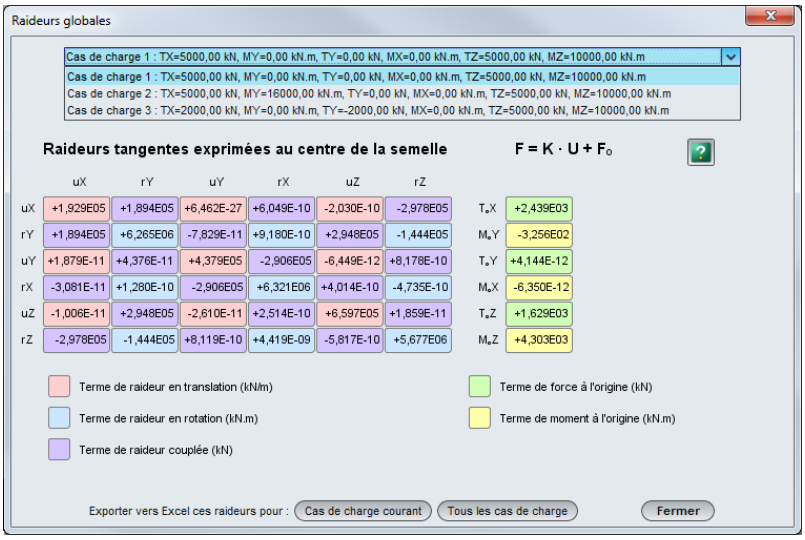
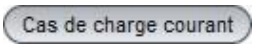
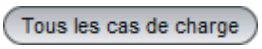


Figure H 44 : Raideurs globales de la fondation

Il est possible d'exporter, vers un tableur EXCEL, les raideurs :

- d'un seul cas de charge en cliquant sur le bouton 

Ou bien

- de tous les cas de charge en cliquant sur le bouton 

Une figure d'aide indique la désignation des différents symboles :

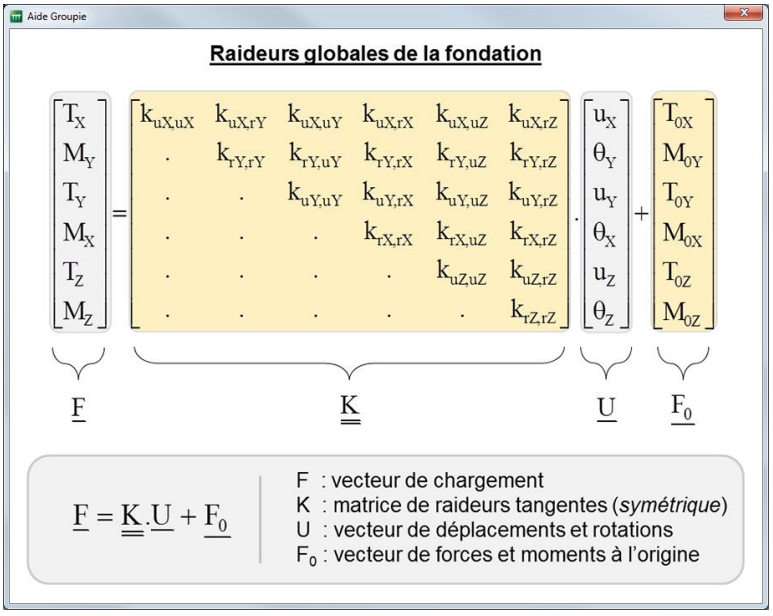


Figure H 45 : Figure d'aide pour les raideurs globales de la fondation

Résultats numériques : Efforts en tête des pieux

Ce tableau est analogue à celui disponible dans le mode Groupie Manuel (cf. chapitre H.3.1.6.2).

N° cas charge	N° pieu	T_1	M_1	T_2	M_2	T_z	M_z
1	1	5128,830	-33975,700	-3881,720	17736,900	3449,790	-73525,000
1	2	-5140,910	12331,900	370,015	3588,130	-2389,700	-2782,510
1	3	-911,067	5702,090	-1355,800	12488,000	-1007,190	31996,900
1	4	7909,800	14132,200	4867,510	10004,000	2266,390	31996,900
2	1	7783,470	-55114,100	-2930,370	11950,700	3887,360	-55143,700
2	2	-6257,090	5698,230	-986,944	18134,800	-859,684	-110,060
2	3	-1969,530	21086,800	-108,671	-2439,060	-484,993	26531,300
2	4	7975,340	8713,370	4025,980	5679,890	2145,680	26531,300
3	1	7435,940	-54769,700	1016,270	-3017,150	4017,060	21559,400
3	2	-7590,200	19266,200	-921,382	3154,220	1023,940	10272,200
3	3	-1809,650	14837,500	170,613	-5366,010	-296,311	2737,970
3	4	7185,410	19176,400	-2265,500	-8222,340	2080,160	2737,970

Figure H 46 : Résultats numériques - "Efforts en tête des pieux"

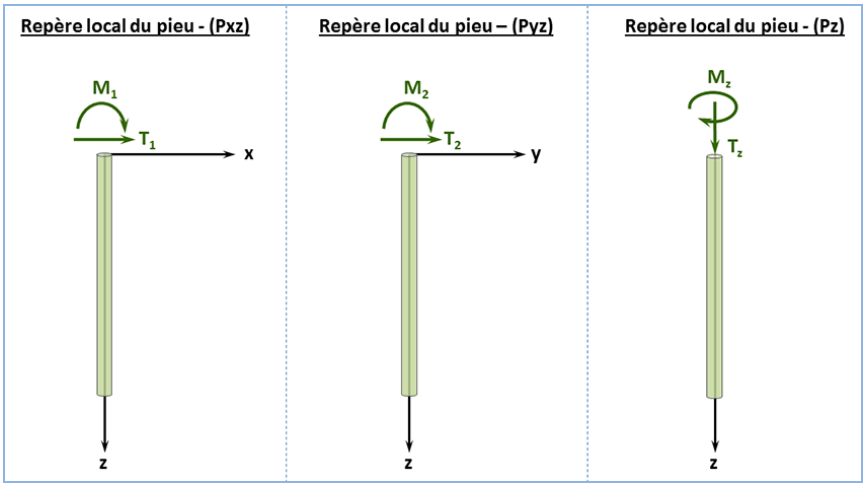


Figure H 47 : Figure d'aide pour les efforts en tête des pieux

H.3.2.7.2. Résultats graphiques

Ces courbes présentent, pour chaque cas de chargement, les déformations et sollicitations dans chaque pieu. Il est possible de superposer les résultats de plusieurs cas de chargement et/ou pieux. La navigation dans ces résultats est décrite ci-après :

- Sélectionner dans le menu en haut à gauche, le cas de charge à afficher ;
- Sélectionner en bas à gauche le pieu à afficher ;
- On retrouve en bas de chaque graphique, les bornes minimales et maximales de chaque grandeur pour les éléments sélectionnés.

Il est possible de sélectionner plusieurs cas de charge ou plusieurs pieux à l'aide de la touche Ctrl ou Shift du clavier.

Les résultats obtenus sont exprimés dans les repères locaux de pieux. Différents choix sont offerts pour l'exportation des résultats graphiques.

Résultats graphiques : Comportement latéral

Cette fenêtre fournit les courbes de déformation et de sollicitation des pieux dans les plans locaux (oxz) et (oyz).

- Flèche du pieu et déformée latérale du sol (m) : - u1, gz1 : dans la direction x
  - u2, gz2 : dans la direction y
- Moment fléchissant (kN.m) : - M1 : dans la direction x
  - M2 : dans la direction y
- Effort tranchant (kN) : - T1 : dans la direction x
  - T2 : dans la direction y

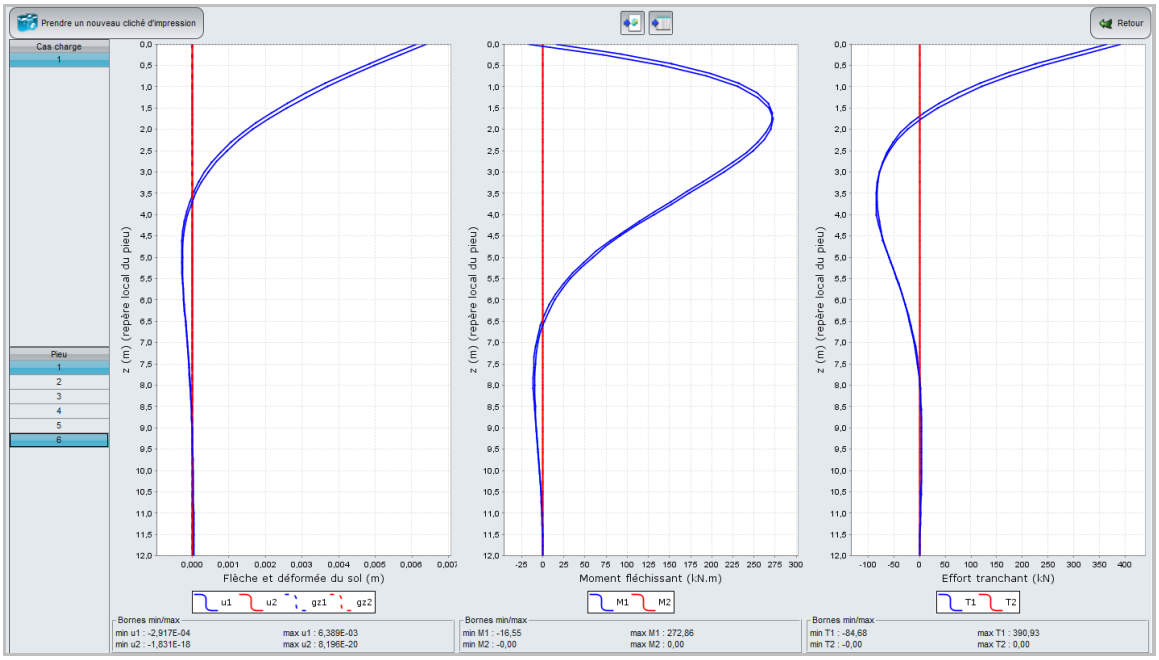


Figure H 48 : Coupe graphique - Courbes "Comportement latéral"

Résultats graphiques : Comportement axial

Cette fenêtre fournit les courbes de déformation et de sollicitation des pieux dans la direction axiale (oz).

- uz, ys : tassement du pieu et du sol (m) ;
- fmob, qs : frottement axial mobilisé et limite (kPa) ;
- Nz : effort axial (kN).

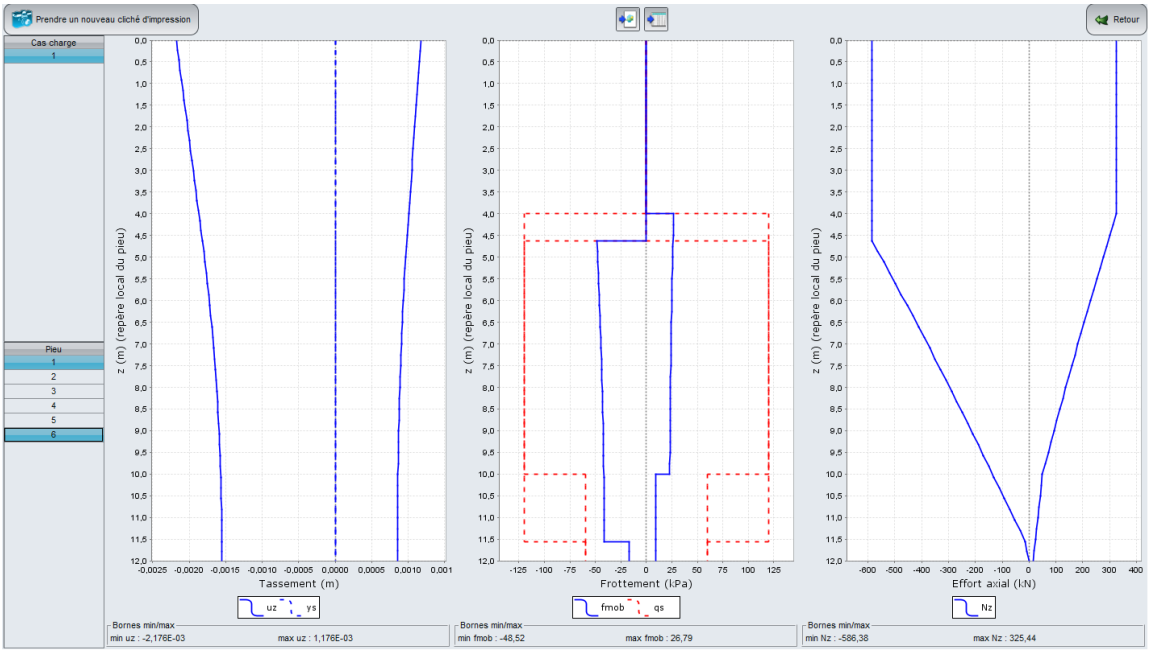


Figure H 49 : Coupe graphique - Courbes "Comportement axial"

Résultats graphiques : Résultats complémentaires

Cette fenêtre permet d'accéder aux résultats suivants :

- Tcomb : effort tranchant combiné (kN) ;
- Mcomb : moment fléchissant combiné (kN.m) ;

- Ratios : ratios dans les directions x, y et z (%) qui représentent, à un niveau donné, le taux de mobilisation :
  - de la réaction latérale du sol par rapport à la pression de plastification (ratio x et ratio y) ;
  - du frottement axial mobilisé par rapport au frottement limite (ratio z).

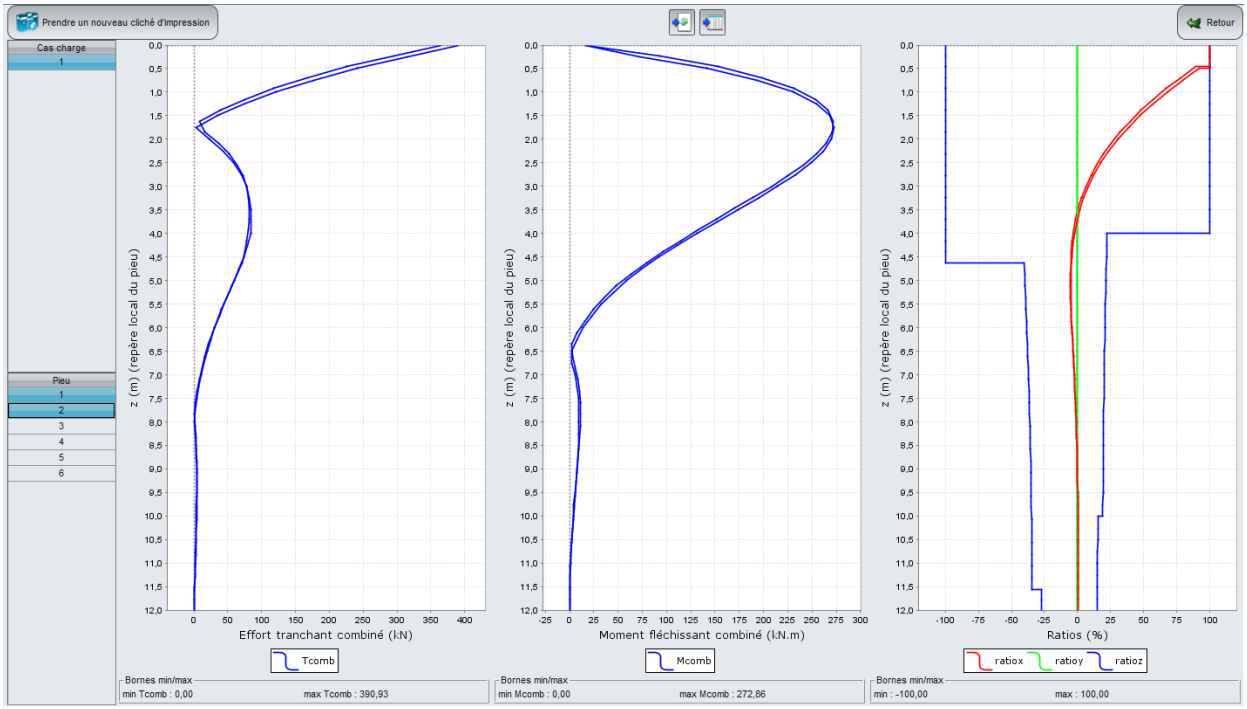


Figure H 50 : Coupe graphique - Courbes "Résultats complémentaires"

H.3.3. Mode Groupie+ Automatique Avancé

H.3.3.1. Onglet "Paramètres"

Sélectionner le mode Groupie+ Automatique Avancé en cliquant sur le bouton . Les boutons des autres modules sont alors grisés.

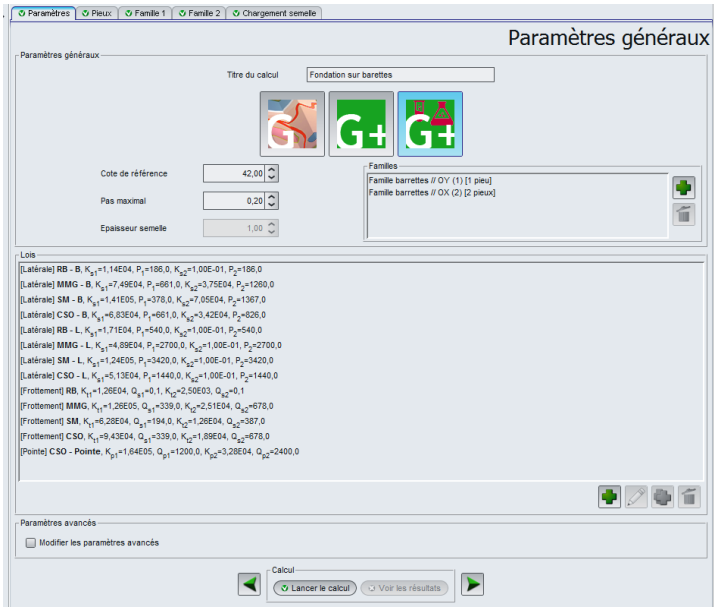


Figure H 51 : Onglet "Paramètres" de Groupie+ Automatique Avancé

Cet onglet est composé de trois cadres :

- Paramètres généraux ;
- Lois ;
- Paramètres avancés (caché par défaut).

H.3.3.1.1. Cadre "Paramètres généraux"

Dans ce cadre, Groupie+ Automatique Avancé demande les renseignements suivants :

- Titre du calcul ;
- Mode Groupie+ Automatique Avancé : sélectionné ;
- Pas maximal (m) : épaisseur maximale des subdivisions de couches (valeur de 0,5 m par défaut) ;
- Epaisseur de la semelle (m) : semelle parfaitement rigide.

Ce même cadre contient une zone "Familles". Il s'agit ici d'indiquer la ou les famille(s) des pieux, ce qui permettra de regrouper les pieux de même catégorie. A chaque création de famille, Groupie+ Automatique Avancé rajoute un onglet supplémentaire. Ce dernier comportera les caractéristiques communes aux pieux de la famille en question.

Il est obligatoire de définir au moins une famille qui sera ensuite attribuée à un ou plusieurs pieux.

Cliquer sur le bouton pour créer une famille. Lors de la création d'une famille supplémentaire, le programme propose de s'appuyer sur une famille existante. Dans ce cas, la nouvelle famille est créée comme un duplicata de la famille de base.

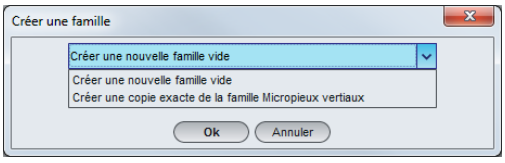


Figure H 52 : Création d'une famille

Lorsque la famille est créée et que les pieux lui sont attribués, le programme indique le nombre de pieux qui lui sont rattachés entre parenthèses, juste après son nom.
En double cliquant sur une famille, Groupie+ Automatique Avancé bascule automatiquement vers l'onglet correspondant.

H.3.3.1.2. Cadre "Lois "

Ce cadre regroupe les lois d'interaction pieu-sol auxquelles l'utilisateur pourra se référer, lors de la définition du cadre "Sols/pieux", dans l'onglet "Famille X".

Pour ajouter une loi :

- Cliquer sur le bouton .

Pour éditer une loi :

- Double cliquer sur la ligne correspondante ;

Ou bien

- Sélectionner la loi et cliquer sur le bouton "Editer" .

Pour dupliquer une loi :

- Sélectionner la loi souhaitée ;
- Cliquer sur le bouton : la loi est dupliquée à l'identique, son nom est numéroté de manière à pouvoir distinguer les lois les unes des autres. Il est à noter que la liste des lois est ordonnée en trois blocs identifiables par un préfixe [type de loi] qui précède le nom de la loi. Les lois constitutives de chaque bloc conservent leur ordre de création.

Quel que soit son type, une loi est définie par deux paramètres de pente et deux points caractéristiques. Toutes les lois sont définies explicitement par des données manuelles. Une attention particulière doit être portée aux paramètres de lois et notamment à leurs unités.

Loi de type "Latérale" :

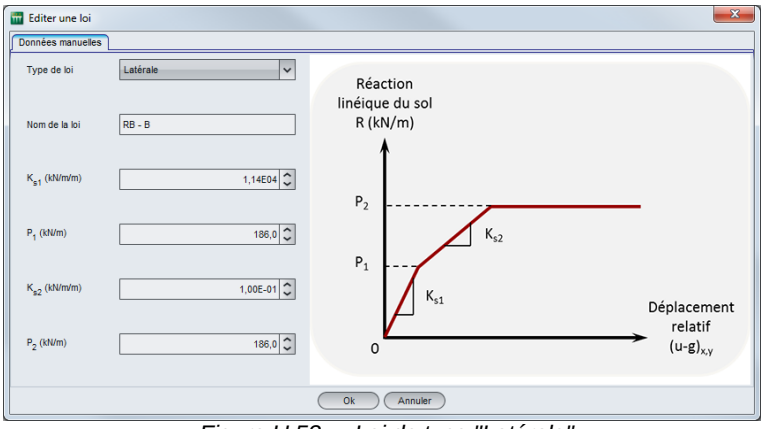


Figure H 53 : Loi de type "Latérale"

Loi de type "Frottement" :

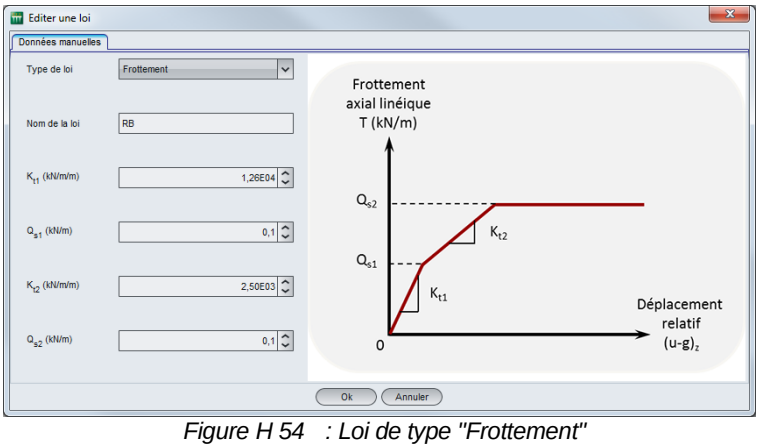


Figure H 54 : Loi de type "Frottement"

Loi de type "Pointe" :

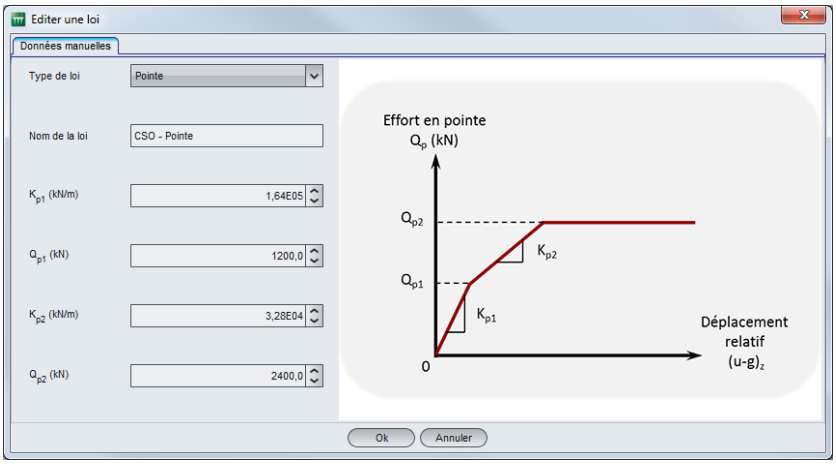


Figure H 55 : Loi de type "Pointe"

Un clic sur le bouton OK valide la loi et la rajoute au bloc correspondant à son type.

Les données à saisir sont les suivantes :

Désignation	**Unité**	**Valeur par défaut**	**Condition d'affichage**	**Valeur obligatoire**	**Contrôles locaux**
Type de loi	-	Latérale	Toujours	Oui	-
Nom de la loi	-	-			
K_{s1} : module de réaction du sol au 1er palier	kN/m/m	0	Loi de type "Latérale"	Oui	-
P_1 : réaction du sol au 1er palier	kN/m				
K_{s2} : module de réaction du sol au 2ème palier	kN/m/m				
P_2 : réaction du sol au 2ème palier	kN/m				
K_{t1} : 1ère pente de la courbe de mobilisation de frottement	kN/m/m	0	Loi de type "Frottement"	Oui	-
Q_{s1} : 1er palier de la courbe de mobilisation de frottement	kN/m				
K_{t2} : 2ème pente de la courbe de mobilisation de frottement	kN/m/m				
Q_{s2} : 2ème palier de la courbe de mobilisation de frottement	kN/m				
K_{p1} : 1ère pente de la courbe de mobilisation de l'effort en pointe	kN/m	0	Loi de type "Pointe"	Oui	-
Q_{p1} : 1er palier de la courbe de mobilisation de l'effort en pointe	kN				
K_{p2} : 2ème pente de la courbe de mobilisation de l'effort en pointe	kN/m				
Q_{p2} : 2ème palier de la courbe de mobilisation de l'effort en pointe	kN				

Tableau H 16 : *Onglet "Paramètres" – Lois : Données manuelles*

H.3.3.1.3. Cadre "Paramètres avancés"

Excepté l'option d'utilisation d'azimut qui est sans objet pour ce mode, le contenu de ce cadre est analogue à celui présenté pour le mode Groupie+ Automatique.

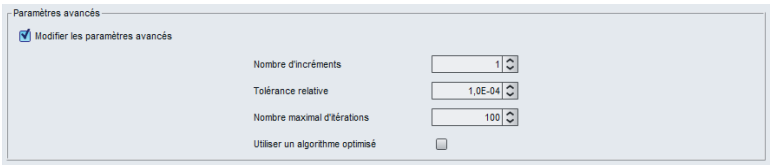


Figure H 56 : Cadre "Paramètres avancés" de Groupie+ Automatique Avancé

H.3.3.2. Onglet "Pieux"

Cet onglet sert pour la création de pieux. Il permet de renseigner les coordonnées X et Y de leurs têtes et de les affecter aux familles définies préalablement dans le projet. Le pieu initialement grisé prend alors la couleur correspondant à la famille à laquelle il appartient.

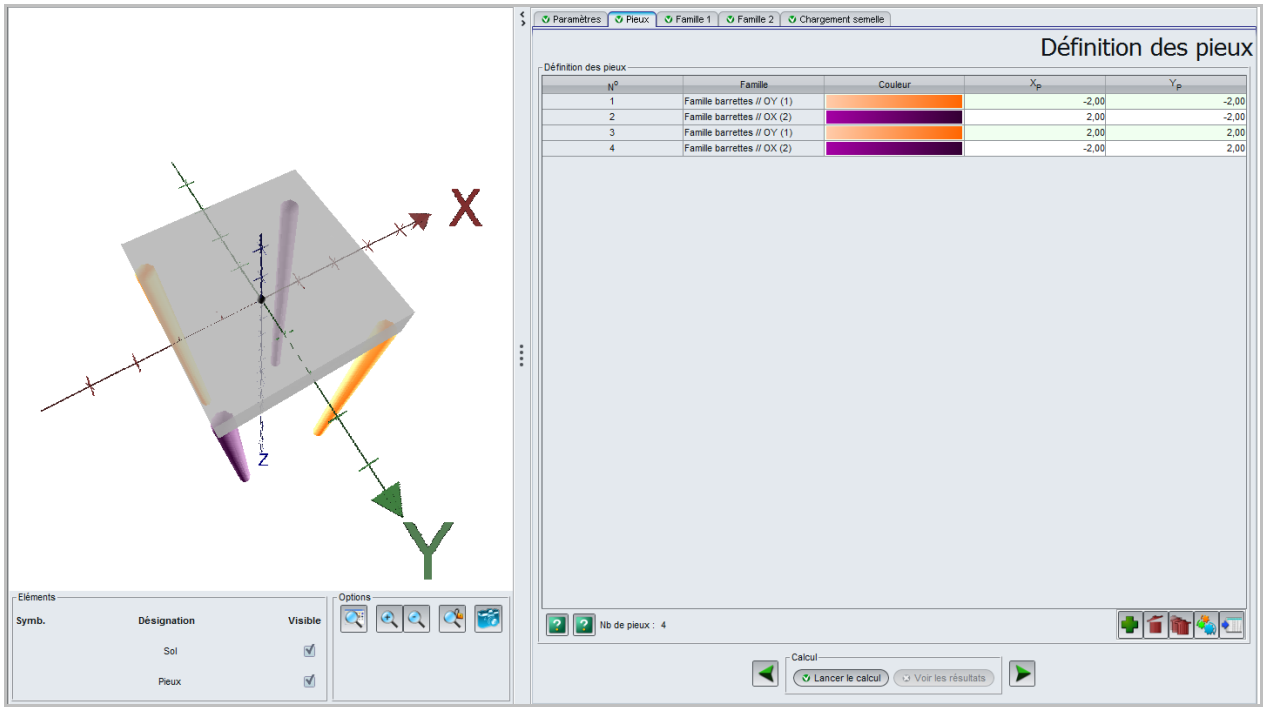


Figure H 57 : Onglet "Pieux" de Groupie+ Automatique Avancé

Cet onglet ne contient qu'un seul cadre, dont les paramètres sont décrits ci-après.

Désignation	**Unité**	**Valeur par défaut**	**Condition d'affichage**	**Valeur obligatoire**	**Contrôles locaux**
Famille du pieu	-	Pas de famille	Toujours	Oui	-
X_P : abscisse de la tête du pieux – repère global	m	0,00	Toujours	Oui	-
Y_P : ordonnée de la tête du pieux – repère global					

Tableau H 17 : *Onglet "Pieux" – Cadre "Définition des pieux"*

H.3.3.3. Onglets "Famille"

Il existe autant d'onglets "Famille" que de familles créées dans l'onglet "Paramètres" (voir paragraphe H.3.3.1). Lors de la création d'une famille, le programme lui affecte un numéro automatiquement et demande de renseigner un nom associé. Le numéro de la famille est

repris pour nommer l'onglet. Son nom complet apparait en haut de l'onglet si ce dernier est actif.

Les pieux appartenant à une même famille ont les paramètres suivants en commun :

- Orientation ;
- Section et longueur ;
- Caractéristiques mécaniques ;
- Type de liaison dans la semelle ;
- Modèle géotechnique : cotes et courbes de transfert, raideurs ponctuelles, g(z).

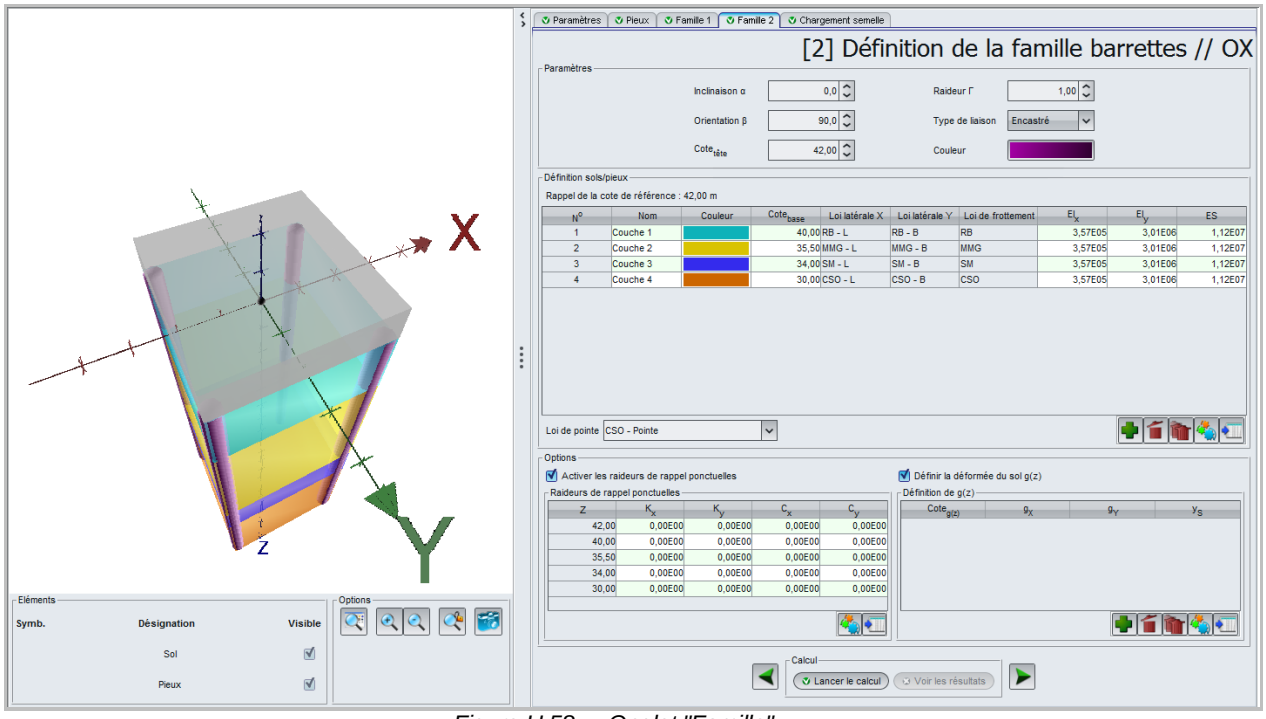


Figure H 58 : Onglet "Famille"

L'onglet "Famille" comporte trois cadres dont le dernier est optionnel.

- Paramètres ;
- Définition sols/pieux ;
- Options.

H.3.3.3.1. Cadre "Paramètres"

Ce cadre vient compléter la définition de la disposition des pieux. Les paramètres à renseigner sont décrits dans le tableau ci-dessous.

Désignation	**Unité**	**Valeur par défaut**	**Condition d'affichage**	**Valeur obligatoire**	**Contrôles locaux**
α : inclinaison des pieux de cette famille par rapport à l'axe (OZ) – repère global	°	0	Toujours	Oui	-
β : orientation des pieux de cette famille autour de l'axe (OZ) – repère global	°				
$Cote_{tête}$: cote de la tête des pieux de cette famille sur la verticale ascendante	m				

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
Γ : raideur à la torsion équivalente en tête – repère local	kN.m/rad	1	Toujours	Oui	≥ 0
Type de liaison : encastré ou articulé (rotule)	-	Encastré	Toujours	Oui	-

Tableau H 18 : *Onglet "Famille" – Cadre "Paramètres"*

Le champ "Couleur" permet d'afficher l'ensemble des pieux d'une même famille avec une seule couleur, le but étant de faciliter la distinction des différentes familles sur la partie graphique.

H.3.3.3.2. Cadre "Définition Sols/Pieux"

Les interfaces de couches ne doivent pas dépasser la cote de référence rappelée dans tout onglet "Famille". Par ailleurs, elles sont considérées horizontales au droit de chaque famille. Cette hypothèse a été adoptée pour rester en cohérence avec la notion de famille qui consiste à conserver un seul modèle géotechnique pour tous les pieux d'une même famille.

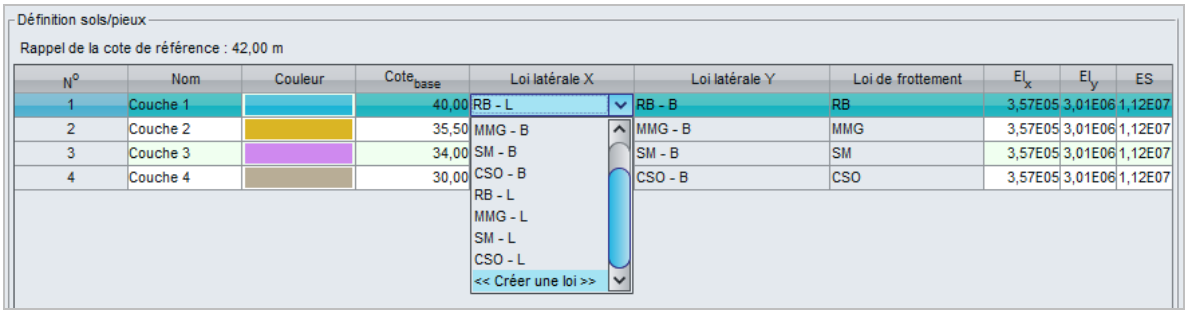


Figure H 59 : Cadre "Définition Sol/Pieux"

Il convient ensuite de renseigner le tableau des caractéristiques des sols : trois colonnes font appel aux lois définies dans l'onglet "Paramètres". Toutefois, il est également possible de les créer directement depuis la liste déroulante en cliquant sur l'option "Créer une loi". Dans ce dernier cas, les lois créées s'ajouteront automatiquement au cadre "Lois" de l'onglet "Paramètres" selon la classification présentée précédemment.

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
$Cote_{base}$: cote de base de la couche lue sur la verticale ascendante	m	0	Toujours	Oui	-
Loi latérale x : loi de réaction latérale dans la direction x – repère local	-	-	Toujours	Oui	Non vide
Loi latérale y : loi de réaction latérale dans la direction y – repère local	-	-	Toujours	Oui	Non vide
Loi de frottement : loi de mobilisation du frottement axial – repère local	-	-	Toujours	Oui	Non vide
EI_x : produit d'inertie du tronçon de pieu dans la direction x – repère local	kN.m²	0	Toujours	Oui	≥ 0

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
EI_y : produit d'inertie du tronçon de pieu dans la direction y – repère local	kN.m²	0	Toujours	Oui	≥ 0
ES : rigidité axiale du tronçon de pieu – repère local	kN	0	Toujours	Oui	≥ 0

Tableau H 19 : *Onglet "Famille" – Cadre "Définition Sols/Pieux"*

Le dernier élément à définir dans ce cadre est la **loi de pointe** qu'il faudra choisir par la liste déroulante.

H.3.3.3.3. Cadre "Options"

Ce cadre est constitué de deux tableaux optionnels.

Raideurs de rappel ponctuelles

Si la case "Activer les raideurs de rappel ponctuelles" est cochée, il est possible de définir des raideurs ponctuelles (en translation et en rotation) aux interfaces de couches. On note que ces raideurs sont exprimées dans le repère local de chaque pieu.

Les données à renseigner sont détaillées dans le tableau ci-dessous.

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
Z : cote	m	Fonction du cadre "Définition Sols/Pieux"	Toujours	Oui	Non modifiable
k_x : raideur de rappel ponctuelle en translation latérale dans la direction x	kN/m	0	Toujours	Oui	≥ 0
k_y : raideur de rappel ponctuelle en translation latérale dans la direction y	kN/m				
C_x : raideur de rappel ponctuelle en rotation dans la direction x	kN.m/rad				
C_y : raideur de rappel ponctuelle en rotation dans la direction y	kN.m/rad				

Tableau H 20 : *Onglet "Famille" – Cadre "Options" – Raideurs de rappel ponctuelles*

Déformée libre g(z)

Si la case "Définir la déformée du sol g(z)" est cochée, il est possible de définir une déformée g(z) appliquée sur les pieux de la famille en question. Les composantes de g(z) sont exprimées dans le repère global. La méthode de définition est analogue à celle utilisée pour le mode Groupie+ Automatique (cf. chapitre H.3.2.4).

Les données à renseigner sont détaillées dans le tableau suivant :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
Cote$_{g(z)}$	m	0	Toujours	Oui	-
g_x : déformée latérale du sol – direction X					
g_Y : déformée latérale du sol – direction Y					
y_S : tassement imposé du sol – direction Z					

Tableau H 21 : *Onglet "Famille" – Cadre "Options" – "Définition de g(z)"*

H.3.3.4. Onglet "Chargement semelle"

Cet onglet permet de définir les cas de chargement auxquelles est soumise la semelle de liaison. Cet onglet est analogue à celui du mode Groupie Manuel décrit au paragraphe H.3.1.4.

H.3.3.5. Calcul

La démarche de calcul est exactement la même qu'en mode Groupie+ Automatique (chapitre H.3.2.6).

H.3.3.6. Résultats

Les résultats de Groupie+ Automatique Avancé sont analogues à celles présentés en mode Groupie+ Automatique (chapitre H.3.2.7).

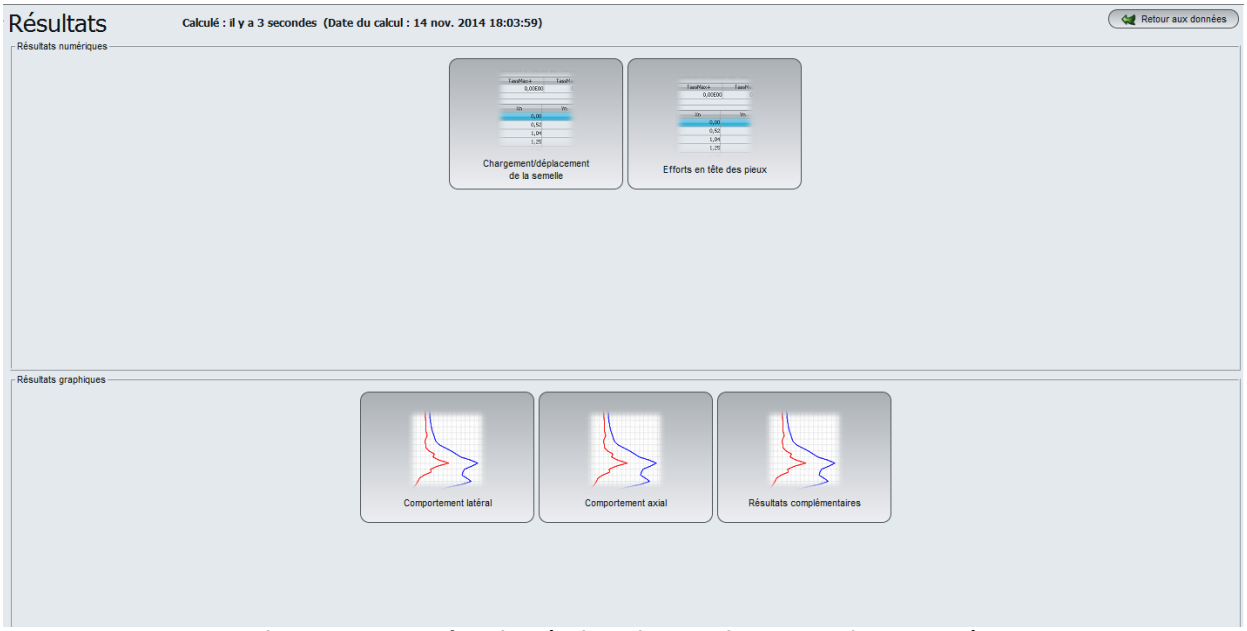


Figure H 60 : Fenêtre des résultats de Groupie+ Automatique Avancé

H.3.3.6.1. Résultats numériques

Idem que pour le mode Groupie+ Automatique (cf. chapitre H.3.2.7.1).

H.3.3.6.2. Résultats graphiques

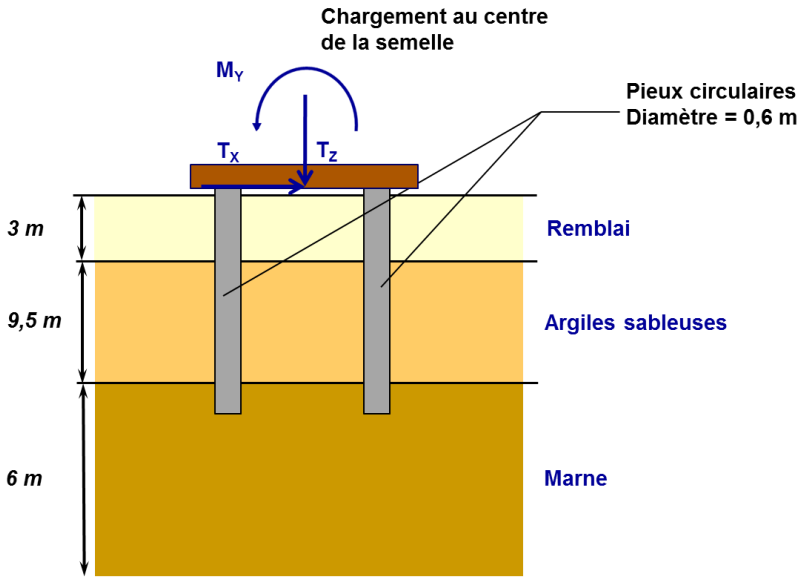
Idem que pour le mode Groupie+ Automatique (cf. chapitre H.3.2.7.2).

Groupie+ Automatique Avancé permet en plus de filtrer la liste des pieux par famille. Il est possible de sélectionner une famille de pieux à l'aide de la liste déroulante initialisée par défaut à "Toutes les familles".

NB : On note que le frottement le long des pieux, fourni dans la fenêtre "Comportement axial", est exprimé en kN/m à la place des kPa. C'est la seule différence entre les résultats des modes Automatique.

H.4. EXEMPLES

H.4.1. Exemple 1 : Semelle sur pieux circulaires



H.4.1.1. Saisie des données

A l'ouverture de l'application, FoXta propose :

- De créer un nouveau projet ;
- D'ouvrir un projet existant ;
- D'ouvrir automatiquement le dernier projet utilisé.

Dans le cas de cet exemple :

- Choisir de créer un nouveau projet en sélectionnant le radio-bouton (◉ Nouveau projet) ;
- Cliquer sur le bouton [OK].

H.4.1.1.1. Assistant Nouveau projet

Cadre "Fichier"

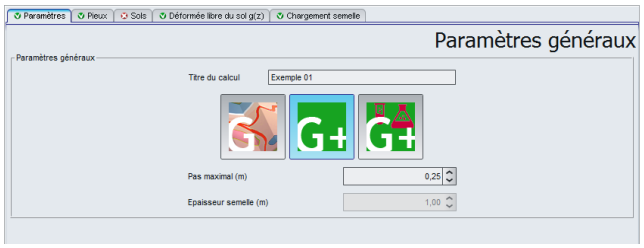
- Renseigner le chemin du projet en cliquant sur le bouton [...] ;
- Donner un nom au fichier et l'enregistrer.

Cadre "Projet"

- Donner un titre au projet ;
- Saisir un numéro d'affaire ;
- Compléter avec un commentaire si besoin ;
- Laisser la case "Utiliser la base de données" décochée (nous n'utiliserons pas la base de données pour cet exemple), et cliquer sur le bouton [Suivant].

H.4.1.1.2. Assistant Nouveau projet : choix des modules

Dans la fenêtre "Choix des modules", sélectionner le module Groupie+ puis cliquer sur le bouton [Créer].



La fenêtre Groupie+ apparaît. Il convient de compléter les différents onglets de données.

H.4.1.1.3. Onglet "Paramètres"

Cet onglet contient deux cadres distincts :

Cadre "Paramètres généraux"

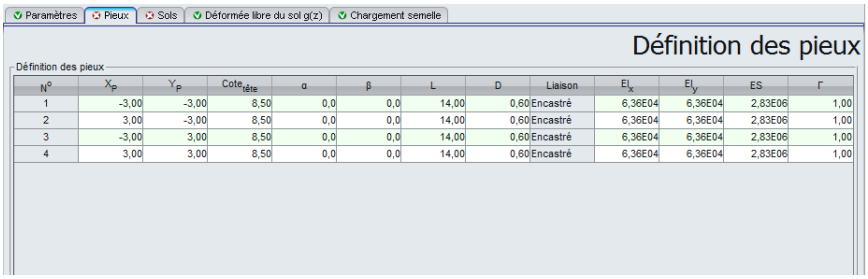
- Titre du calcul Groupie+ : pour cet exemple on notera simplement "Exemple 01" ;
- Mode Groupie+ Automatique : sélectionné ;
- Pas maximal (m) : 0,25 ;
- Epaisseur de la semelle (m) : semelle parfaitement rigide.

Cadres "Paramètres avancés"

- Modifier les paramètres avancés : décochée.

H.4.1.1.4. Onglet "Pieux"

Cet onglet permet de définir les caractéristiques des pieux. On considère dans un premier temps que ces derniers sont encastrés dans la semelle de liaison.



Cadre "Définition des pieux"

- Créer 4 pieux en cliquant sur le bouton .

Les données à saisir sont les suivantes :

N° pieu	X_P (m)	Y_P (m)	$Cote_{tête}$ (m)	α (°)	β (°)	L (m)	D (m)	Liaison	El_x (kN.m²)	El_y (kN.m²)	ES (kN)	Γ (kN.m/rad)
1	-3,00	-3,00	8,50	0	0	14,0	0,6	Encastré	6,36E04	6,36E04	2,83E06	1,00
2	3,00	-3,00	8,50	0	0	14,0	0,6	Encastré	6,36E04	6,36E04	2,83E06	1,00
3	-3,00	3,00	8,50	0	0	14,0	0,6	Encastré	6,36E04	6,36E04	2,83E06	1,00
4	3,00	3,00	8,50	0	0	14,0	0,6	Encastré	6,36E04	6,36E04	2,83E06	1,00

Cadre "Raideurs en pointe"

- Raideurs spécifiques en pointe de pieux : décochée

Nota : l'onglet "Pieux" reste marqué d'une croix rouge tant que l'onglet suivant "Sols" n'est pas encore complété. En effet, FoXta vérifie que les pieux ne soient pas hors du sol.

*Edition Juin 2015 - **Copyright © FoXta v3 - 2011***

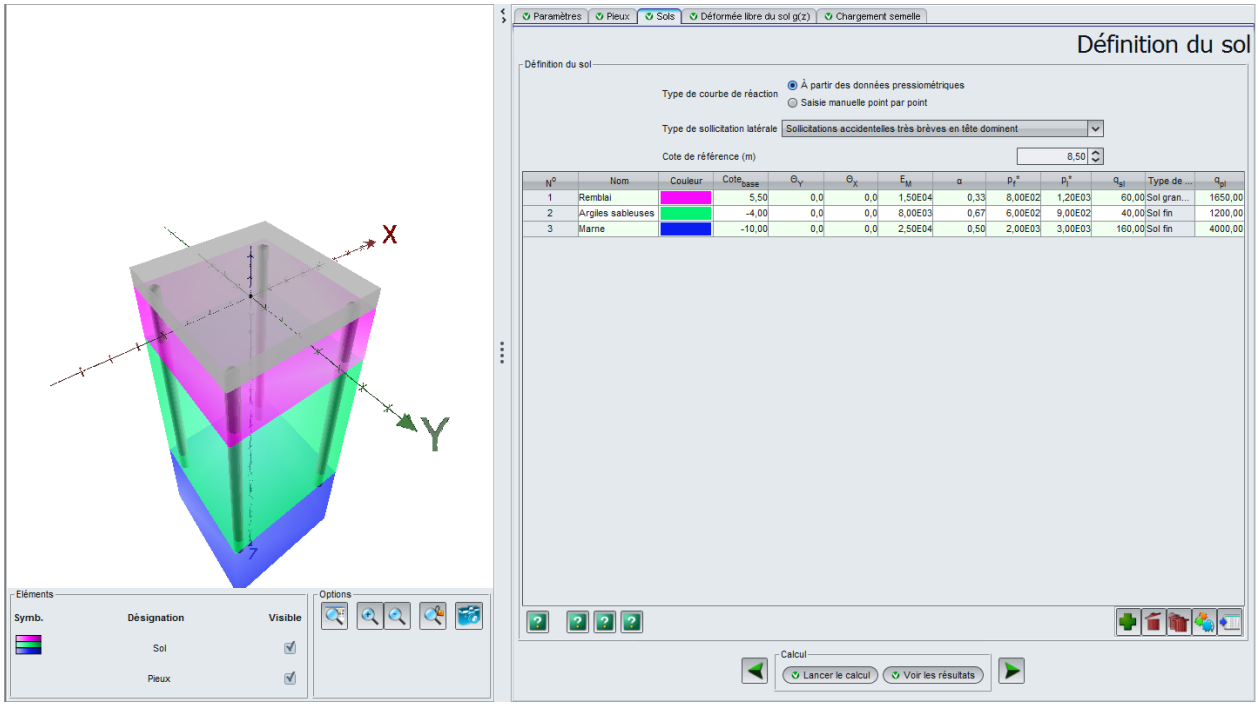
H.4.1.1.5. Onglet "Sols"

Le troisième onglet permet de définir les caractéristiques des sols.
Dans le présent exemple, les lois de réaction sont définies sur la base des données pressiométriques. Les sollicitations latérales en tête sont de type accidentel.

- Type de courbe de réaction : "A partir des données pressiométriques" ;
- Type de sollicitation latérale : "Sollicitations accidentelles très brèves en tête dominantes" ;
- Cote de référence : 8,50 m.

Les données caractérisant les couches de sol sont listées ci-après :

Nom	**Cote$_{base}$** (m)	**θ_Y** (°)	**θ_X** (°)	**E_M** (kPa)	**α** (-)	**p_f*** (kPa)	**p_l*** (kPa)	**q_{sl}** (kPa)	**Type de sol**	**q_{pl}** (kPa)
Remblai	5,5	0	0	1,5E04	0,33	8,0E02	1,2E03	60	granulaire	1650
Argiles sableuses	-4,0	0	0	8,0E03	0,67	6,0E02	9,0E02	40	fin	1200
Marne	-10,0	0	0	2,5E04	0,50	2,0E03	3,0E03	160	fin	4000



On constate que les onglets "Pieux" et "Sols" sont maintenant marqués d'une coche verte indiquant que les données saisies dans ces derniers sont cohérentes.

H.4.1.1.6. Onglet "Déformée libre du sol g(z)"

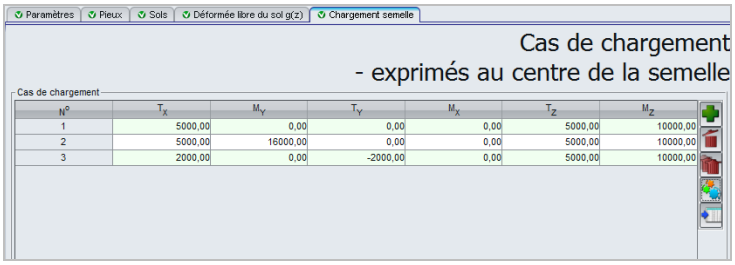
Cet onglet n'est pas utilisé dans cet exemple.

H.4.1.1.7. Onglet "Chargement semelle"

Les cas de chargement sont exprimés au centre de la semelle, soit au point O.

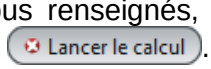
Trois cas de chargement différents sont étudiés.

N° de cas de chargement	T_X (kN)	M_Y (kN.m)	T_Y (kN)	M_X (kN.m)	T_Z (kN)	M_Z (kN.m)
1	5000	0	0	0	5000	10000
2	5000	16000	0	0	5000	10000
3	2000	0	-2000	0	5000	10000

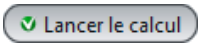


H.4.1.2. Calcul et résultats

H.4.1.2.1. Calcul

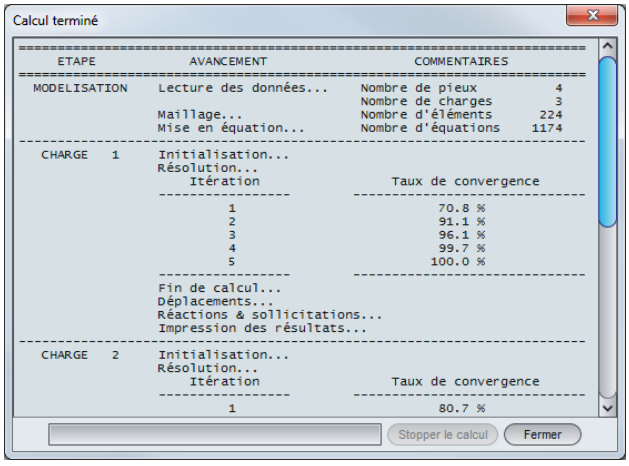
Tant que les onglets obligatoires ne sont pas tous renseignés, le bouton permettant de lancer le calcul s'affiche marqué d'une croix rouge : 

.

Une fois que toutes les données sont correctement saisies, le bouton 

(accessible depuis tous les onglets) devient actif.

Un clic sur ce bouton lancera le calcul et affichera la fenêtre d'avancement indiquant le déroulement de calcul.

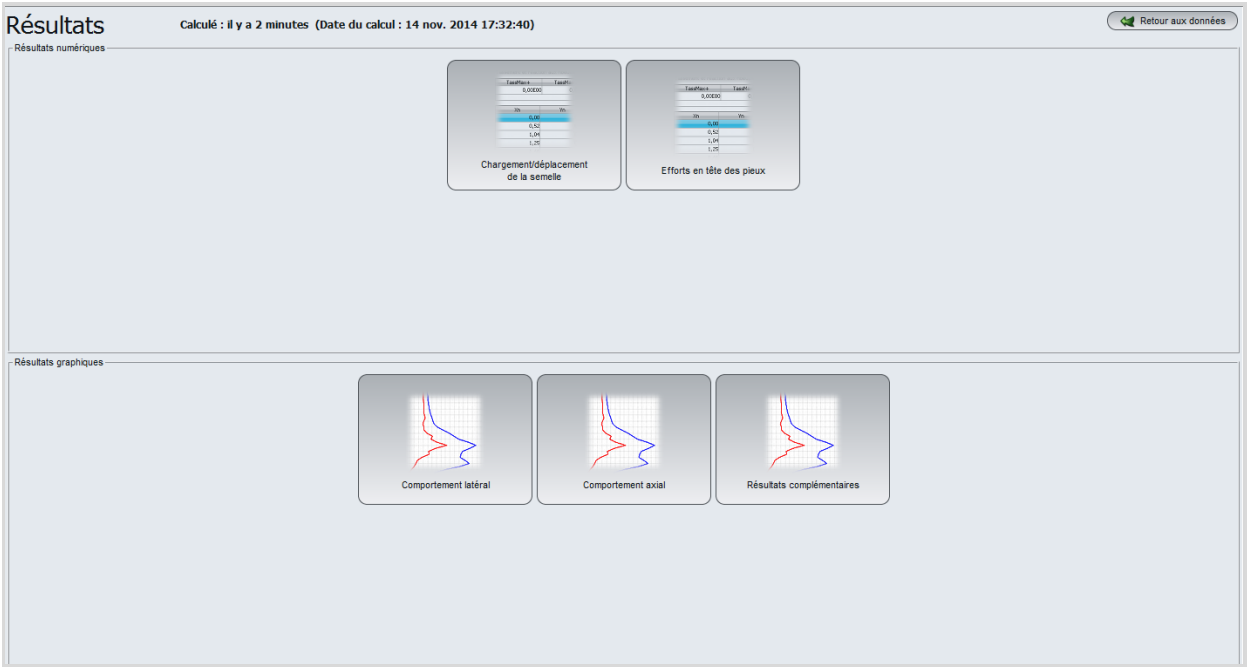


A la fin du calcul, cliquer sur le bouton

.

Pour accéder aux résultats, cliquer sur le bouton

.

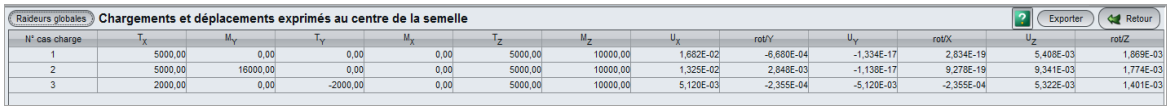


H.4.1.2.2. Résultats

<u>Résultats numériques</u>

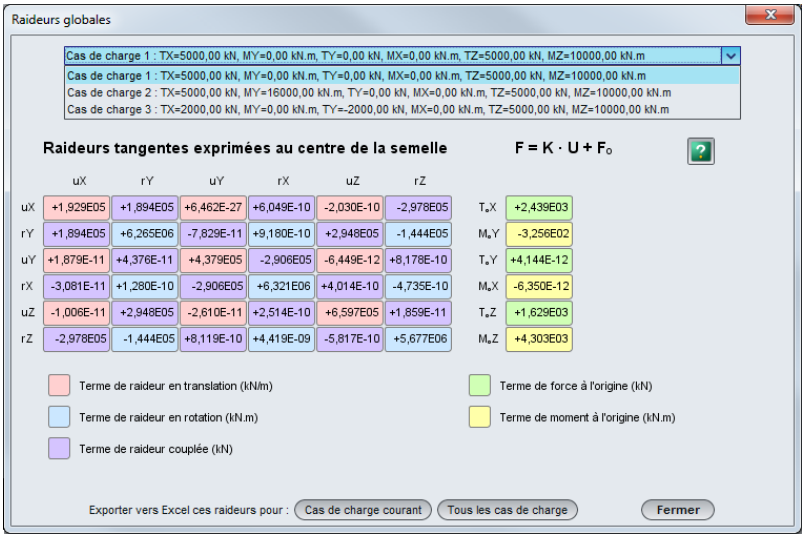
<u>Tableaux de résultats</u> :

Chargement/déplacement de la semelle : ce tableau donne pour chaque cas de chargement le torseur de déplacement au point O.



N° cas charge	T_X	M_Y	T_Y	M_X	T_Z	M_Z	U_X	rot/Y	U_Y	rot/X	U_Z	rot/Z
1	5000,00	0,00	0,00	0,00	5000,00	10000,00	1,682E-02	-6,680E-04	-1,334E-17	2,834E-19	5,408E-03	1,869E-03
2	5000,00	16000,00	0,00	0,00	5000,00	10000,00	1,325E-02	2,848E-03	-1,138E-17	9,278E-19	9,341E-03	1,774E-03
3	2000,00	0,00	-2000,00	0,00	5000,00	10000,00	5,120E-03	-2,355E-04	-5,120E-03	-2,355E-04	5,322E-03	1,401E-03

Les raideurs globales sont accessibles en cliquant sur le bouton Raideurs globales ; il suffit de choisir le cas de charge souhaité dans la liste déroulante.



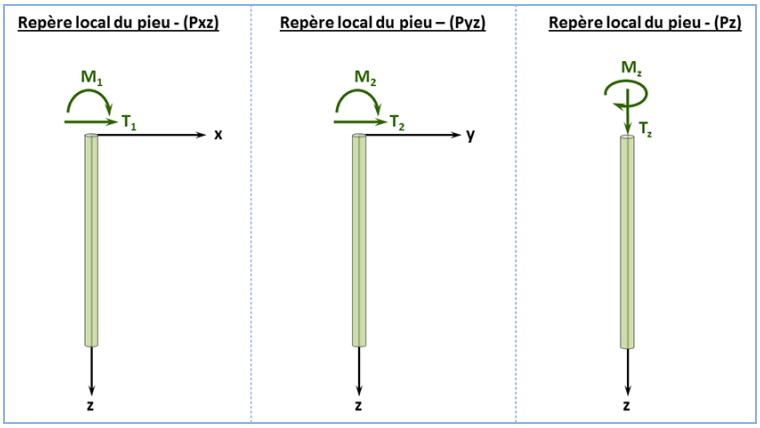
<u>Efforts en tête des pieux</u> :

Ce tableau présente les efforts transmis en têtes des pieux. Les conventions utilisées sont rappelées sur la figure ci-après.

Efforts en tête des pieux

Exporter | Retour

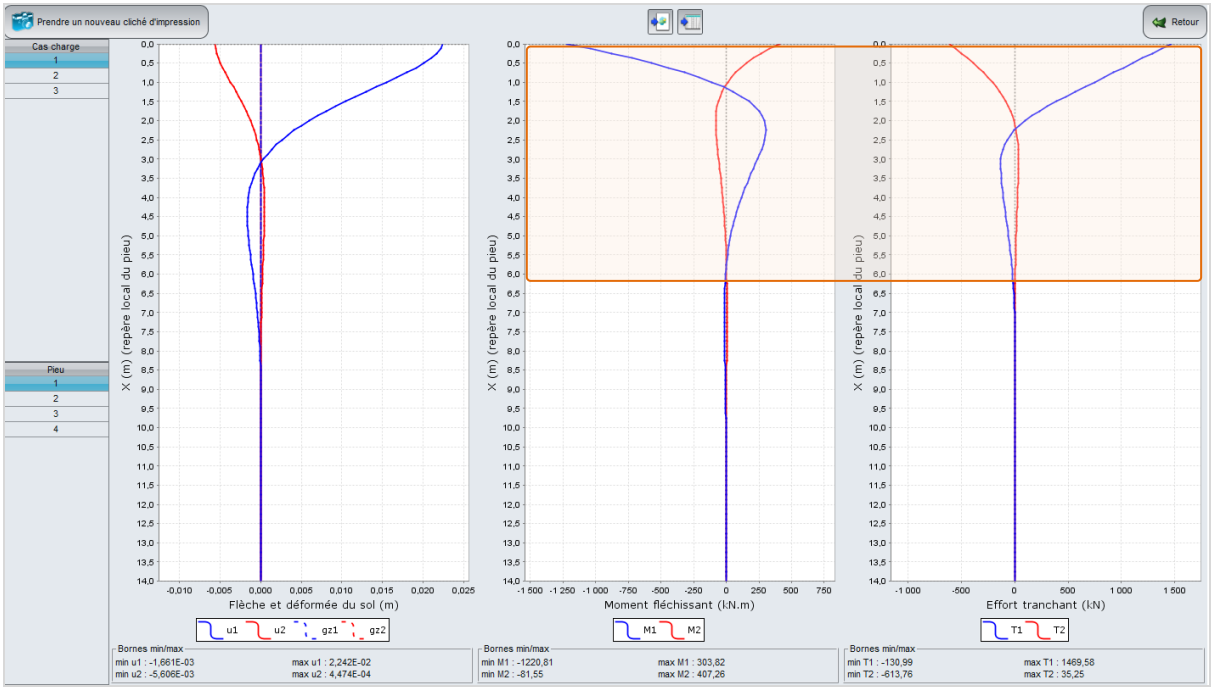
N° cas charge	N° pieu	T_1	M_1	T_2	M_2	T_z	M_z
1	1	1469,580	-1220,810	-613,757	407,263	928,896	0,002
1	2	1469,580	-1220,810	613,757	-407,263	1571,100	0,002
1	3	1030,420	-705,815	-613,757	407,263	928,896	0,002
1	4	1030,420	-705,815	613,757	-407,263	1571,100	0,002
2	1	1500,610	-1342,580	-582,724	386,671	2221,980	0,002
2	2	1500,610	-1342,580	582,724	-386,671	278,020	0,002
2	3	999,391	-825,542	-582,724	386,671	2221,980	0,002
2	4	999,391	-825,542	582,724	-386,671	278,020	0,002
3	1	916,666	-631,222	-916,666	631,222	1251,820	0,001
3	2	916,666	-631,222	-83,334	44,070	1473,280	0,001
3	3	83,334	-44,070	-916,666	631,222	1023,080	0,001
3	4	83,334	-44,070	-83,334	44,070	1251,820	0,001



Résultats graphiques

Comportement latéral :

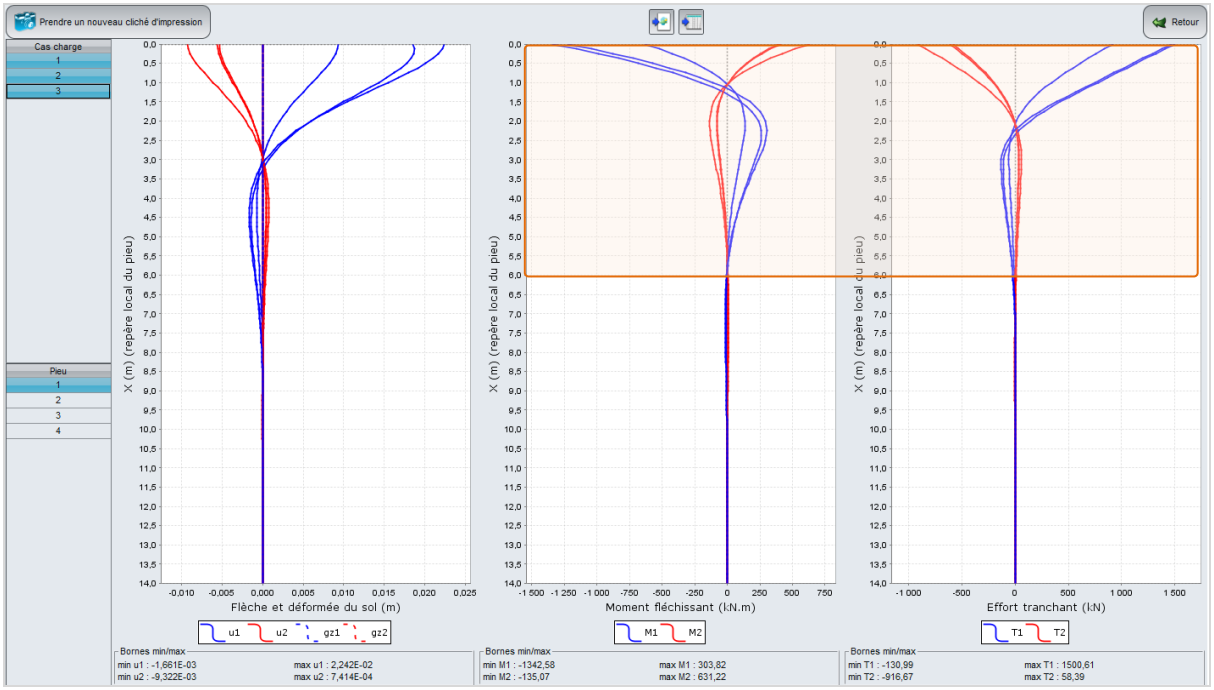
Cas de charge N°1 – Pieu N°1



La forme de la déformée latérale du pieu est compatible avec le fait que ce dernier est encastré dans la semelle de liaison. Les pieux étant verticaux, les rotations de leurs têtes sont égales aux rotations de la semelle.

*Edition Juin 2015 - **Copyright © FoXta v3 - 2011***

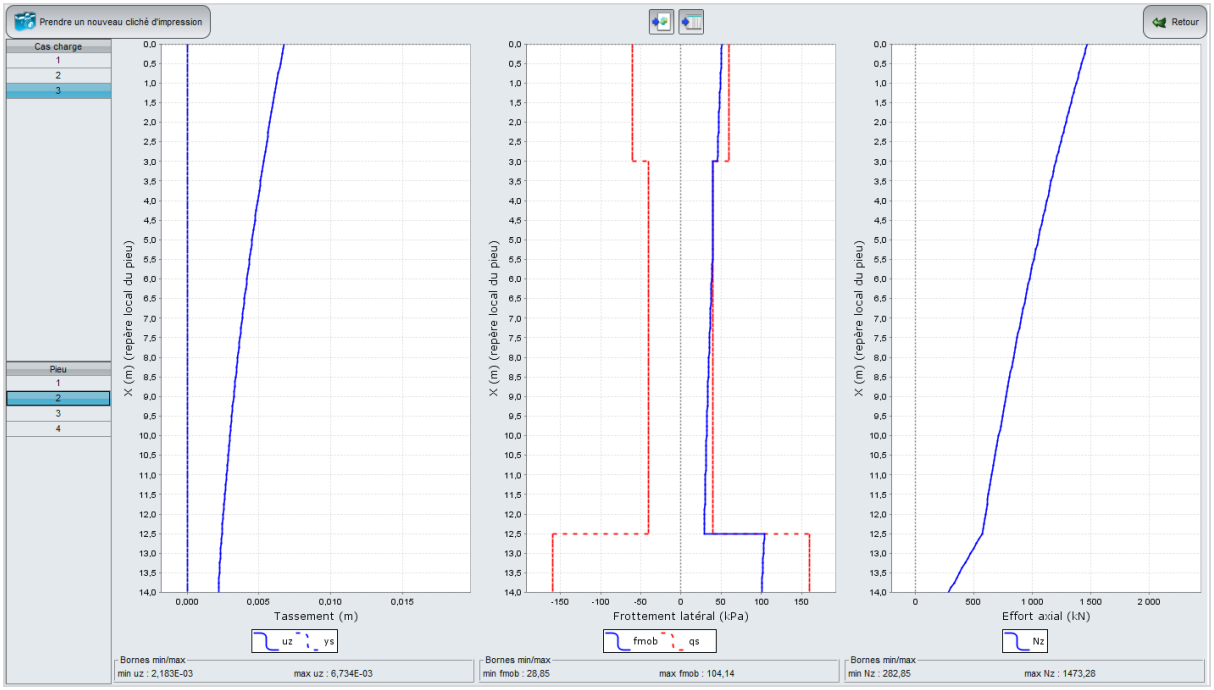
Tous les cas de charge – Pieu N°1



Le pieu N°1 est le plus chargé latéralement. De plus, eu égard à l'encastrement des pieux dans la semelle, le moment et l'effort tranchant sont maximaux en tête. Ces derniers s'amortissent sur les 6 premiers mètres du pieu pour atteindre des valeurs très faibles.

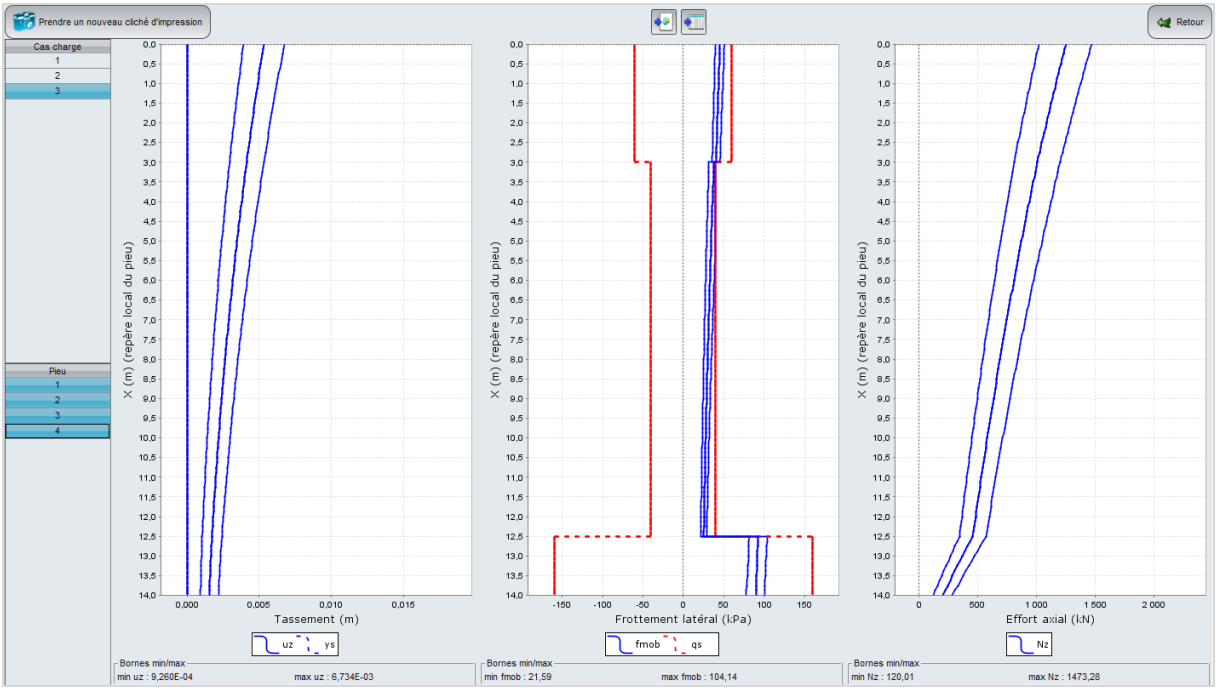
<u>Comportement axial</u> :

Cas de charge N°3 – Pieu N°2



Le pieu N°2 est soumis à une charge axiale en tête de 1473 kN. Le frottement mobilisé, positif sur toute la longueur du fût, a une résultante de 1190 kN. Le reste de la charge (283 kN) est repris en pointe.

Cas de charge N°3 - Tous les pieux



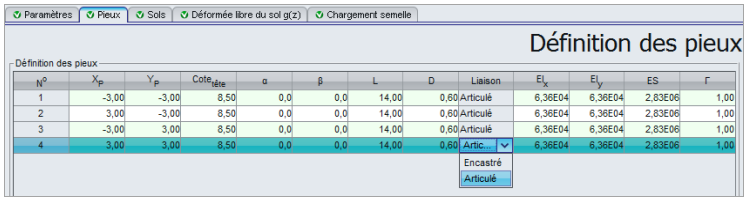
Pour ce cas de charge, tous les pieux travaillent en compression (le pieu N°2 est le plus chargé).

H.4.1.3. Variante de pieux articulés

Dans cette partie, nous allons étudier les différences obtenues en utilisant des pieux articulés au lieu des pieux encastrés.

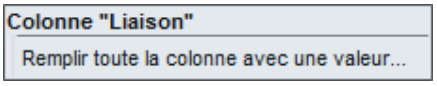
H.4.1.3.1. Modification des données

La seule modification à réaliser doit s'effectuer dans l'onglet "Pieux". Indiquer que le pieu est articulé en tête à l'aide de la liste déroulante des cases de la colonne "Liaison".

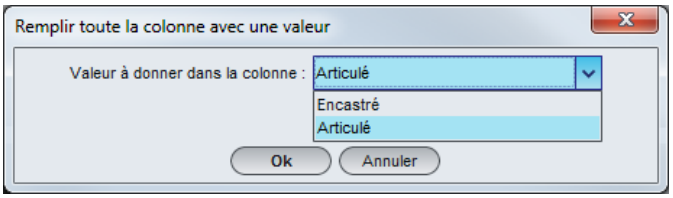


Astuce : pour attribuer la même valeur à l'ensemble des cases d'une colonne :

- Effectuer un clic droit sur l'entête de colonne "Liaison" puis cliquer sur l'option "Remplir toute la colonne avec une valeur..."



- Choisir ici la valeur "Articulé" puis cliquer sur le bouton OK.



H.4.1.3.2. Calcul et résultats

Relancer le calcul en cliquant à nouveau sur le bouton Lancer le calcul puis sur Voir les résultats pour accéder aux résultats.

Tableaux de résultats :

Chargement/déplacement de la semelle :

Raideurs globales — **Chargements et déplacements exprimés au centre de la semelle** — Exporter — Retour

N° cas charge	T_X	M_Y	T_Y	M_X	T_Z	M_Z	U_X	rot/Y	U_Y	rot/X	U_Z	rot/Z
1	5000,00	0,00	0,00	0,00	5000,00	10000,00	8,587E-02	-1,909E-19	3,469E-18	-1,909E-19	5,310E-03	6,360E-03
2	5000,00	16000,00	0,00	0,00	5000,00	10000,00	8,587E-02	5,643E-03	3,469E-18	-1,084E-18	1,669E-02	6,360E-03
3	2000,00	0,00	-2000,00	0,00	5000,00	10000,00	1,657E-02	-1,909E-19	-1,657E-02	-1,909E-19	5,310E-03	5,012E-03

Effort en tête des pieux :

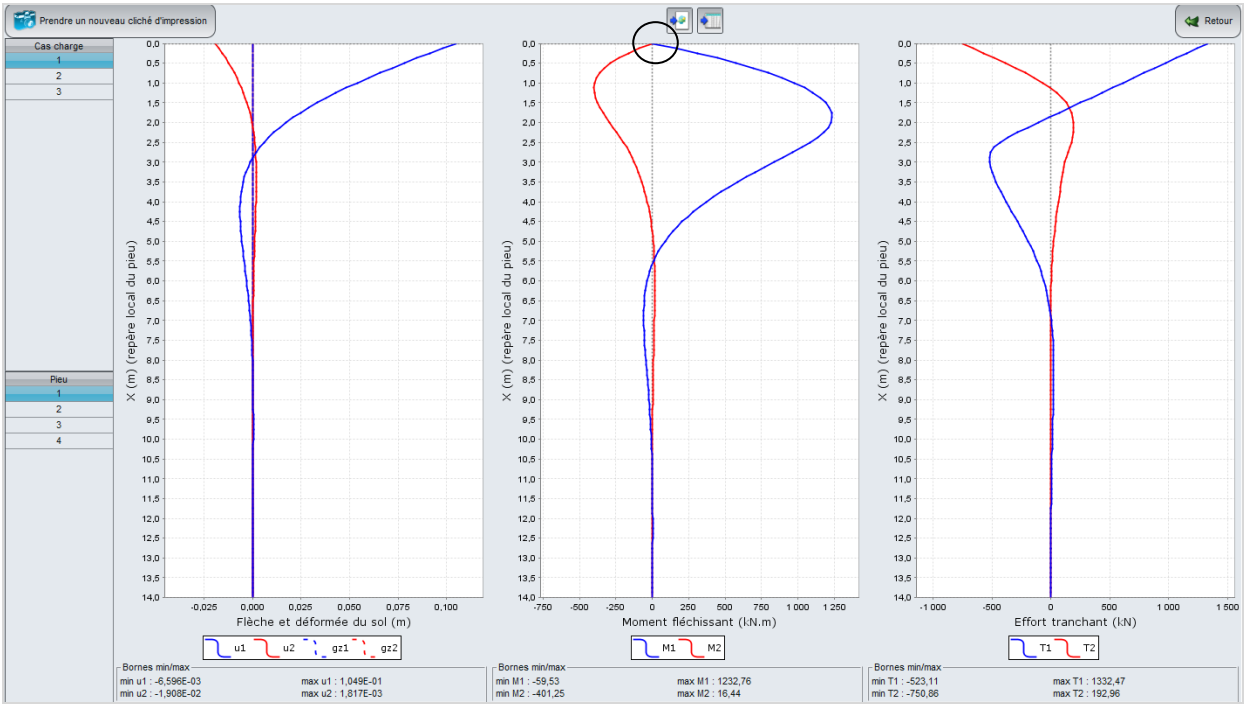
Efforts en tête des pieux — Exporter — Retour

N° cas charge	N° pieu	T_1	M_1	T_2	M_2	T_z	M_z
1	1	1332,470	0,000	-750,864	0,000	1250,000	0,000
1	2	1332,470	0,000	750,864	0,000	1250,000	0,000
1	3	1167,530	0,000	-750,864	0,000	1250,000	0,000
1	4	1167,530	0,000	750,864	0,000	1250,000	0,000
2	1	1332,470	0,000	-750,864	0,000	2583,330	0,000
2	2	1332,470	0,000	750,864	0,000	-83,333	0,000
2	3	1167,530	0,000	-750,864	0,000	2583,330	0,000
2	4	1167,530	0,000	750,864	0,000	-83,333	0,000
3	1	916,667	0,000	-916,667	0,000	1250,000	0,000
3	2	916,667	0,000	-83,333	0,000	1250,000	0,000
3	3	83,333	0,000	-916,667	0,000	1250,000	0,000
3	4	83,333	0,000	-83,333	0,000	1250,000	0,000

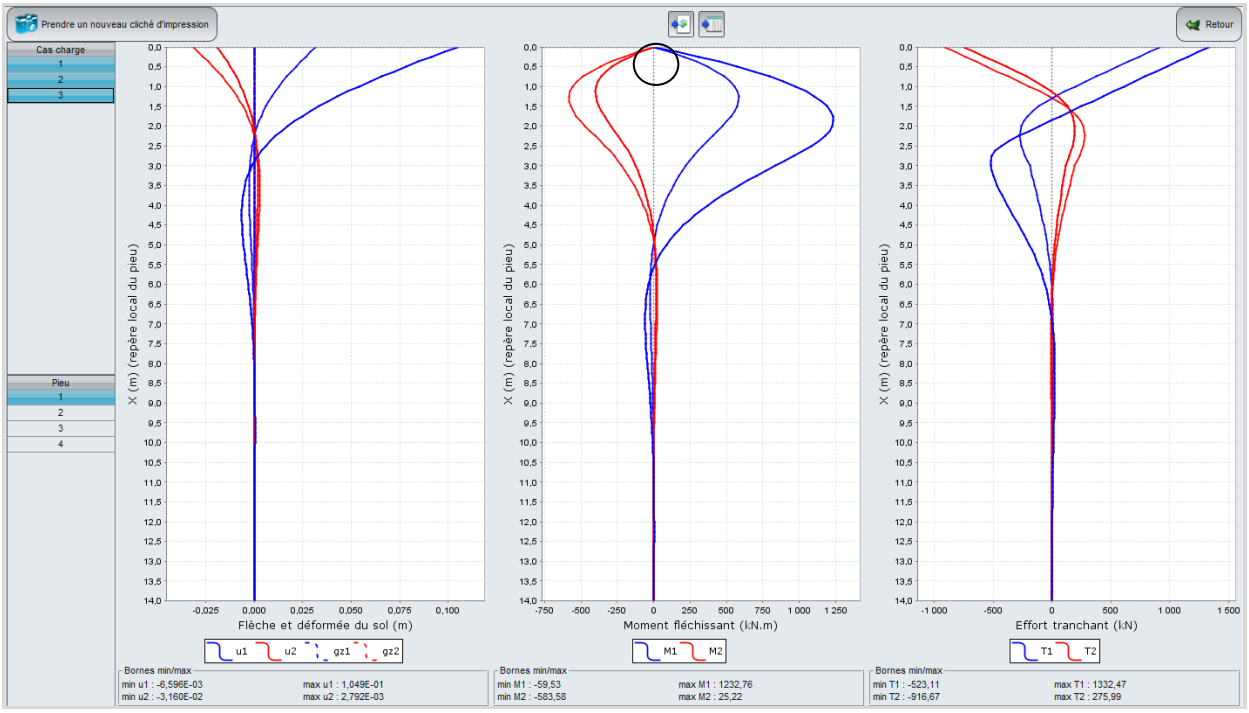
Les pieux étant articulés à la semelle de liaison, aucun moment n'est transmis à leurs têtes (M1 = 0 kN et M2 = 0 kN).

Comportement latéral :

Cas de charge N°1 – Pieu N°1



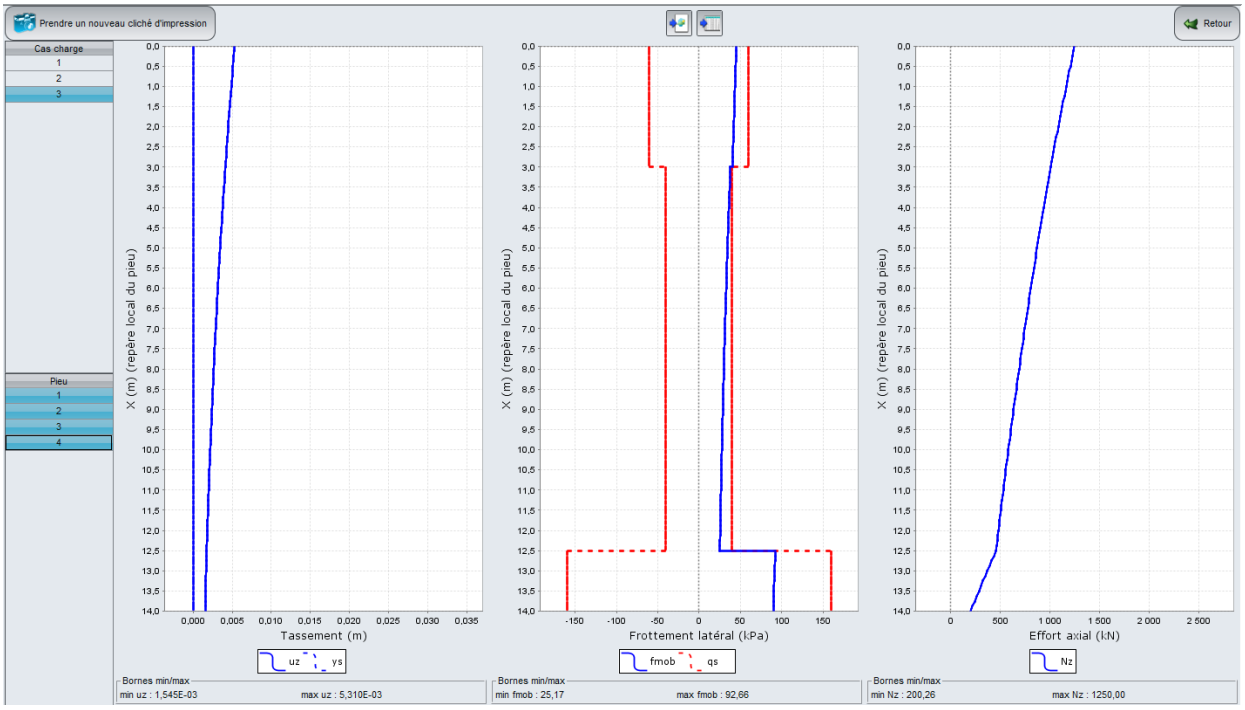
Tous les cas de charge - Pieu N°1



Les têtes de pieux sont libres en rotation, c'est ce qui explique la forme de leurs déformées latérales. Les moments, nuls en têtes, atteignent leur maximum à une profondeur de 1,5 à 2 m par rapport à la base de la semelle. Les efforts tranchants sont plutôt maximaux en tête.

<u>Comportement axial</u> :

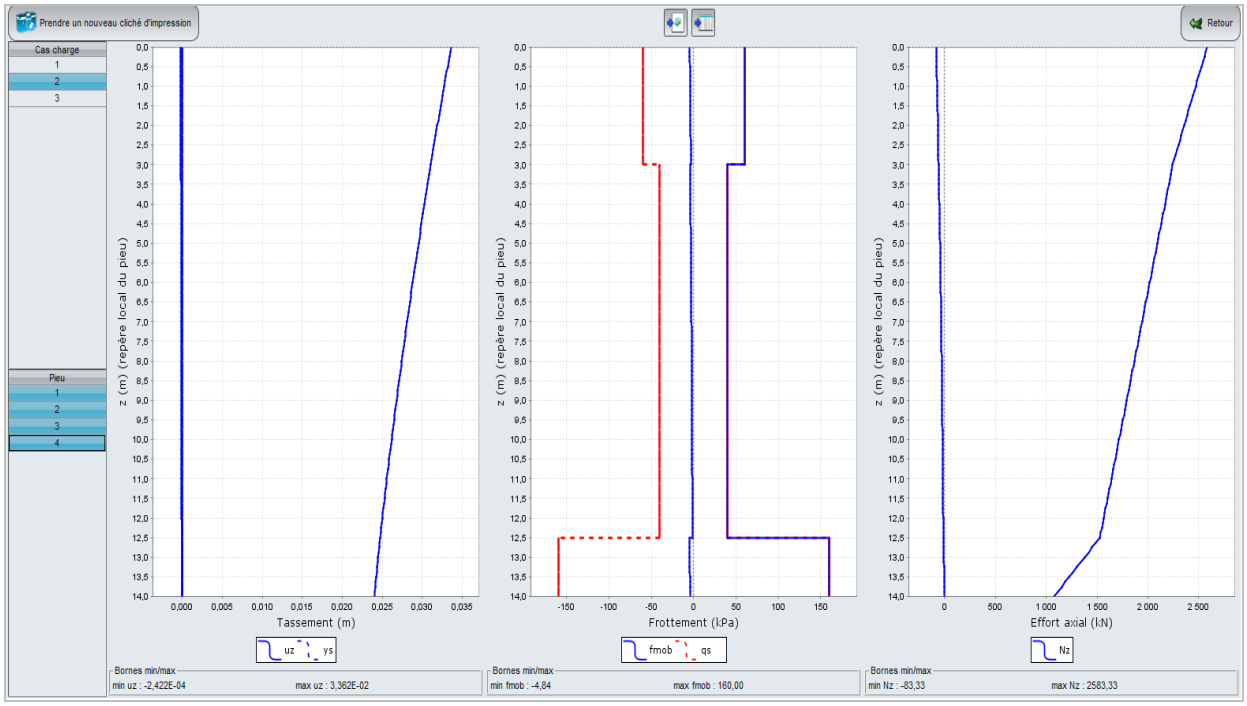
Cas de charge N°3 – Tous les pieux



Pour ce cas de charge, les quatre pieux sont chargés équitablement (1250 kN = 5000 kN / pieux). La même remarque est valable pour le 1er cas de charge.

*Edition Juin 2015 - **Copyright © FoXta v3 - 2011***

Cas de charge N°2 – Tous les pieux



Pour ce cas de charge, les deux pieux N°2 et 4 se mettent en traction et développent donc du frottement négatif sur leurs fûts. L'effort de pointe relatif à ces pieux est nul.

Comparaison des résultats : Pieux encastrés / Pieux articulés.

Comportement latéral :

Tous les cas de charge – Tous les pieux

	Flèche (m)				Moment fléchissant (kN.m)				Effort tranchant (kN)			
	Encastrés		Articulés		Encastrés		Articulés		Encastrés		Articulés	
	u1	u2	u1	u2	M1	M2	M1	M2	T1	T2	T1	T2
Borne min	-1,661E-03	-9,322E-03	-6,596E-03	-3,160E-02	-1342,58	-407,26	-59,53	-583,58	-130,99	-916,67	-523,11	-916,67
Borne max	2,242E-02	5,606E-03	1,049E-01	1,908E-02	303,82	631,22	1232,76	401,25	1500,61	613,76	1332,47	750,86

Comportement axial :

Tous les cas de charge – Tous les pieux

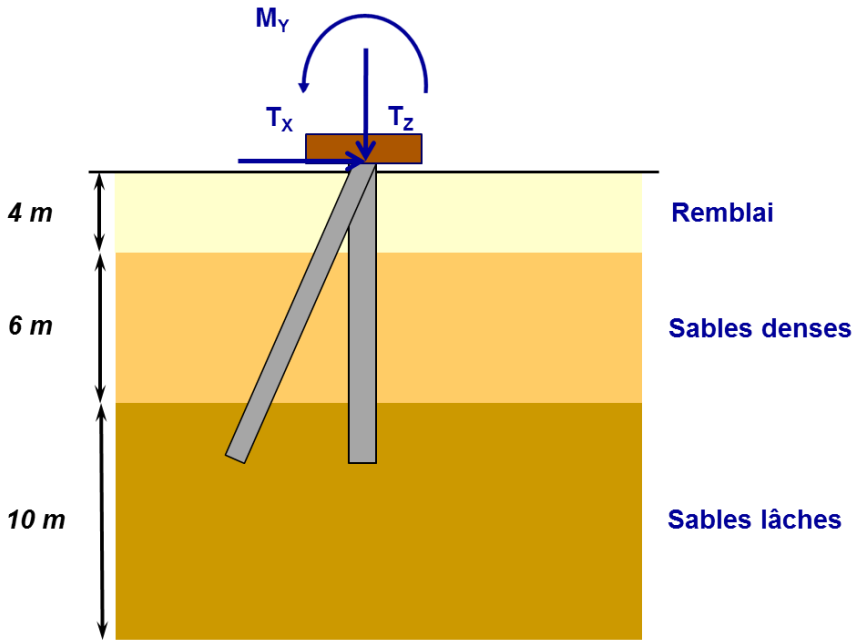
	uz : Tassement (m)		fmob : Frottement axial (kPa)		Nz : Effort axial (kN)	
	Encastrés	Articulés	Encastrés	Articulés	Encastrés	Articulés
Borne min	1,427E-04	-2,422E-04	4,31	-4,84	18,50	-83,33
Borne max	1,789E-02	3,362E-02	160,00	160,00	2221,98	2583,33

Sous les mêmes cas de chargement, les déplacements des pieux (et de la semelle) sont amplifiés quand les pieux sont articulés. Le comportement global de la fondation devient alors plus souple. En comparaison avec la solution de pieux encastrés dans la semelle de liaison, le cas de pieux articulés présente des efforts axiaux plus grands combinés à des efforts tranchants et des moments fléchissants plus faibles.

*Edition Juin 2015 - **Copyright © FoXta v3 - 2011***

H.4.2. Exemple 2 : Fondation d'un écran acoustique

Cet exemple traite le dimensionnement d'un groupe de pieux représentant la fondation d'un écran acoustique. La fondation est composée de 6 pieux dont 3 verticaux et 3 inclinés.



La première étape consiste à l'élaboration du projet en mode Groupie+ Automatique. La deuxième étape présente, à titre de comparaison, la démarche à suivre pour mener le même calcul en mode Groupie Manuel, avec utilisation des modules Taspie+ et Piecoef+.

H.4.2.1. Etape 1 : mode Groupie+ Automatique

H.4.2.1.1. Saisie des données

La démarche de création d'un nouveau projet est analogue à celle présentée dans l'exemple 01 (cf. chapitre H.4.1.1).

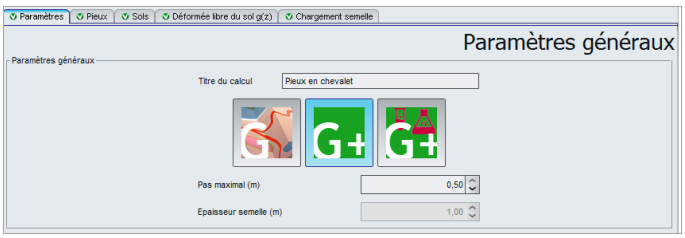
Onglet "Paramètres"

Cadre "Paramètres généraux"

- Titre du calcul : on notera simplement " Pieux en chevalet" ;
- Groupie+ Automatique : sélectionné ;
- Pas maximal : 0,50 m.

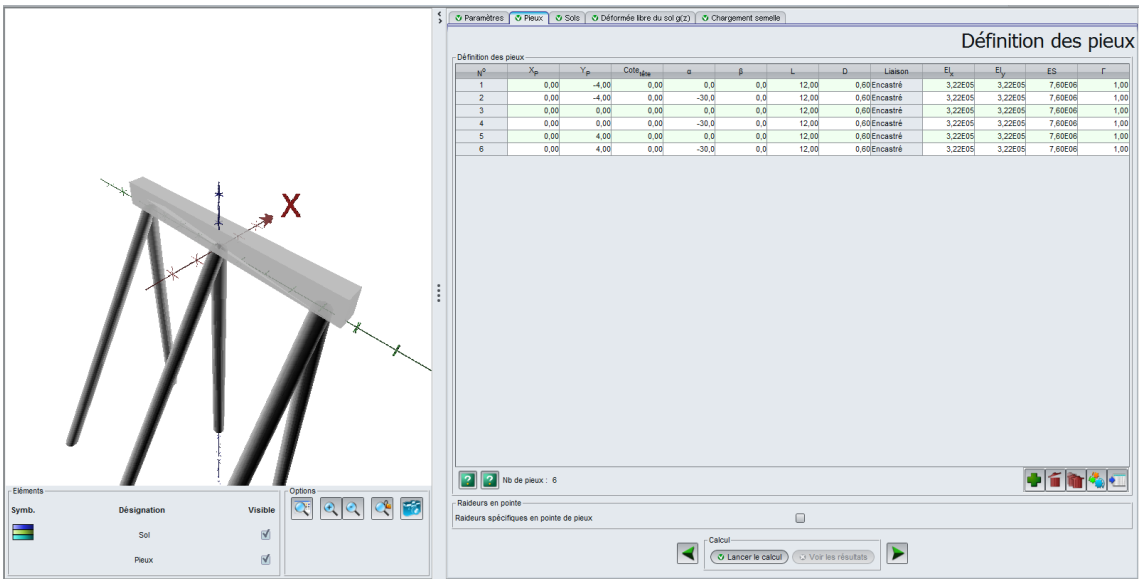
Cadres "Paramètres avancés"

- Modifier les paramètres avancés : décochée.



Onglet "Pieux"

Cet onglet permet de définir les caractéristiques des pieux.



Cadre "Définition des pieux"

- Créer 6 pieux à l'aide du bouton .

Les données à saisir sont les suivantes :

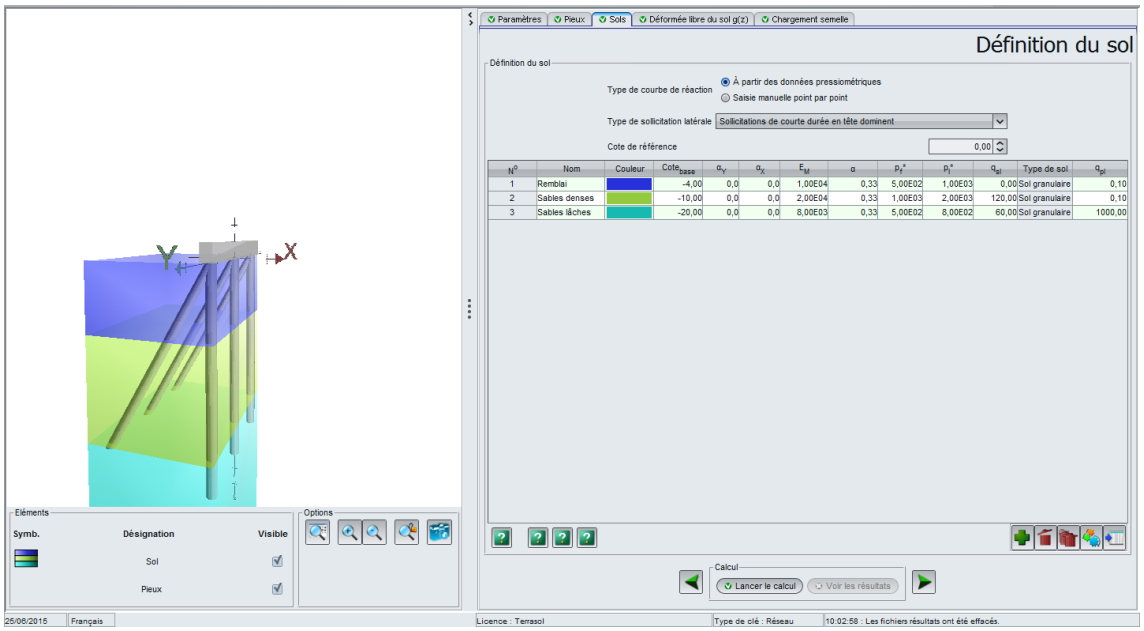
N° des pieux	X_P (m)	Y_P (m)	Cote tête	α (°)	B (°)	L (m)	D (m)	Liaison	EI_x (kN.m²)	EI_y (kN.m²)	ES (kN)	Γ (kN.m/rad)
1	0,0	-4,0	0,0	0	0	12,0	0,6	Encastré	3,22E05	3,22E05	7,60E06	1,00
2	0,0	-4,0	0,0	-30	0	12,0	0,6	Encastré	3,22E05	3,22E05	7,60E06	1,00
3	0,0	0,0	0,0	0	0	12,0	0,6	Encastré	3,22E05	3,22E05	7,60E06	1,00
4	0,0	0,0	0,0	-30	0	12,0	0,6	Encastré	3,22E05	3,22E05	7,60E06	1,00
5	0,0	4,0	0,0	0	0	12,0	0,6	Encastré	3,22E05	3,22E05	7,60E06	1,00
6	0,0	4,0	0,0	-30	0	12,0	0,6	Encastré	3,22E05	3,22E05	7,60E06	1,00

Cadre "Raideurs en pointe"

- Raideurs spécifiques en pointe de pieux : décochée

Onglet "Sols"

Le troisième onglet permet de définir les caractéristiques des sols.



L'interaction des pieux avec le sol sera modélisée par des lois de réaction basées sur les paramètres pressiométriques. Elles sont adaptées aux sollicitations latérales de courte durée.

- Type de courbe de réaction : "A partir des données pressiométriques" ;
- Type de sollicitation latérale : "Sollicitations de courte durée en tête dominent" ;
- Cote de référence (m) : 0,00.

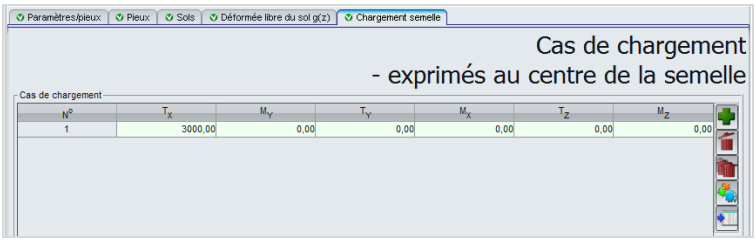
Nom	**Cote$_{base}$** (m)	**α_Y** (°)	**α_X** (°)	**E_M** (kPa)	**α** (-)	**p_f*** (kPa)	**p_l*** (kPa)	**q_{sl}** (kPa)	**Type de sol**	**q_{pl}** (kPa)
Remblai	-4	0	0	1,0E04	0,33	5,0E02	1,0E03	0,001	granulaire	0,1
Sables denses	-10	0	0	2,0E04	0,33	1,0E03	2,0E03	120	granulaire	0,1
Sables lâches	-20	0	0	8,0E03	0,33	5,0E02	8,0E02	60	granulaire	1000

Onglet "Déformée libre du sol g(z)"

Cet onglet n'est pas utilisé dans cet exemple.

Onglet "Chargement semelle"

Un seul cas de charge est à définir. Il est exprimé au centre de la semelle, soit au point O, et il correspond à un effort horizontal T_X de 3000 kN. Seule la case de T_X est à renseigner, les valeurs des autres cases sont maintenues à 0.



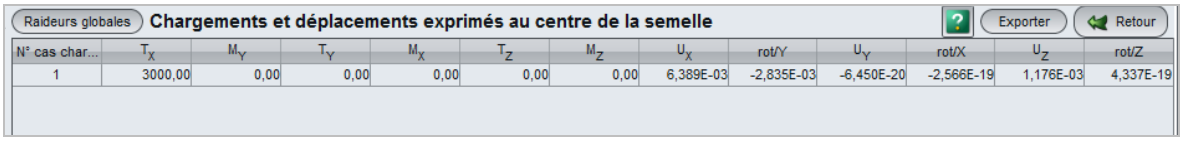
H.4.2.1.2. Calcul et résultats

Procéder au calcul selon la procédure présentée dans l'exemple 1 (chapitre H.4.1.2.1).

Résultats numériques

Chargement/déplacement de la semelle :

Ce tableau donne les composantes du champ de déplacement de la semelle exprimées au point O. Compte tenu des données du problème (symétries géométriques et chargement), ce champ est entièrement définit dans le plan OXZ. Les composantes ne faisant pas partie de ce plan sont nulles.

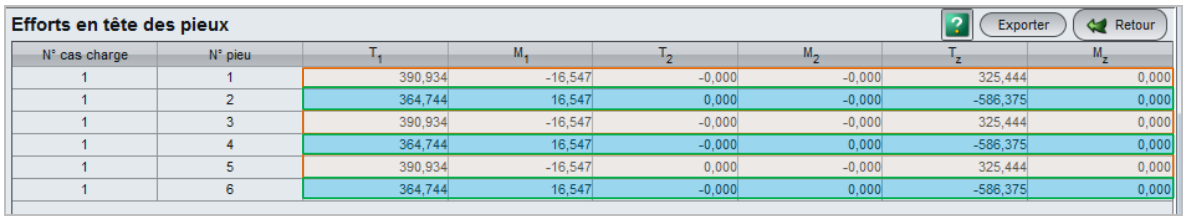

Raideurs globales — **Chargements et déplacements exprimés au centre de la semelle** — Exporter — Retour

N° cas char...	T_X	M_Y	T_Y	M_X	T_Z	M_Z	U_X	rot/Y	U_Y	rot/X	U_Z	rot/Z
1	3000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,389E-03	-2,835E-03	-6,450E-20	-2,566E-19	1,176E-03	4,337E-19

La raideur globale de la fondation est accessible en cliquant sur le bouton Raideurs globales.

Effort en tête des pieux :

Les pieux sont chargés dans leurs plans locaux Pxz ($T_2 = M_2 = M_z = 0$). Les pieux verticaux travaillent en compression ($T_z > 0$) tandis que ceux inclinés sont en arrachement ($T_z < 0$). Les pieux faisant partie de chaque famille de pieux (verticaux ou inclinés) sont chargés de façon identique.


Efforts en tête des pieux — Exporter — Retour

N° cas charge	N° pieu	T_1	M_1	T_2	M_2	T_z	M_z
1	1	390,934	-16,547	-0,000	-0,000	325,444	0,000
1	2	364,744	16,547	0,000	-0,000	-586,375	0,000
1	3	390,934	-16,547	-0,000	-0,000	325,444	0,000
1	4	364,744	16,547	-0,000	0,000	-586,375	0,000
1	5	390,934	-16,547	0,000	-0,000	325,444	0,000
1	6	364,744	16,547	-0,000	0,000	-586,375	0,000

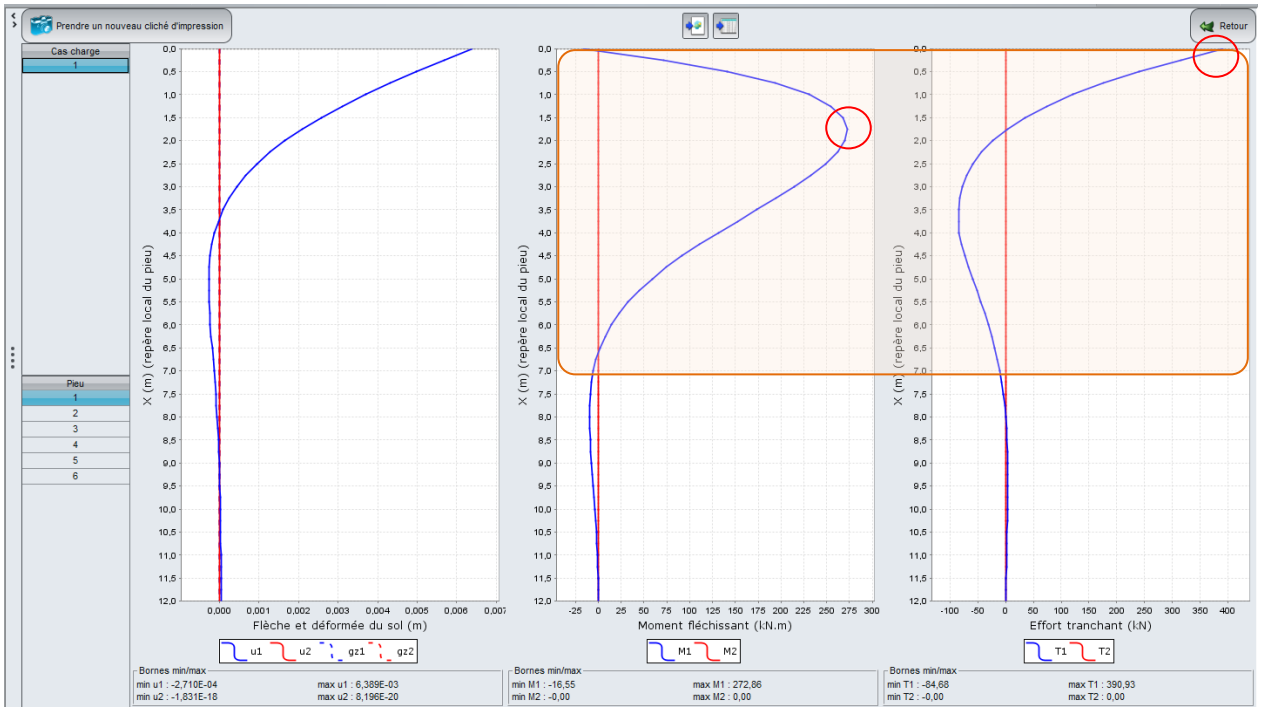
Résultats graphiques

Dans cette partie de résultats, il est possible d'accéder aux diagrammes de déformation et de sollicitations internes le long des fûts.

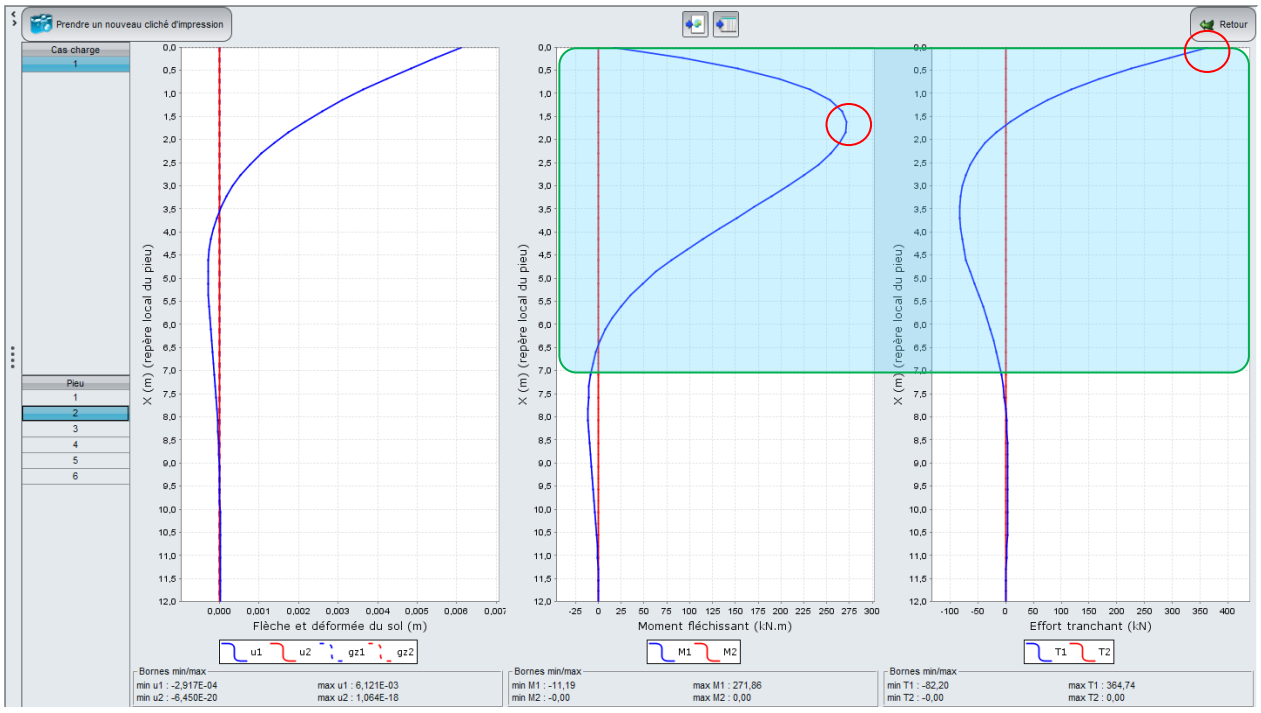
Comportement latéral :

L'effort tranchant est maximal en tête. Par contre, le moment fléchissant atteint son maximum au droit des sections ayant une abscisse curviligne voisine de 2 m. Ces sollicitations s'amortissent en profondeur pour atteindre des valeurs très faibles dans les sections situées à plus que 7 m par rapport aux têtes de pieux.

Pieu N°1 vertical



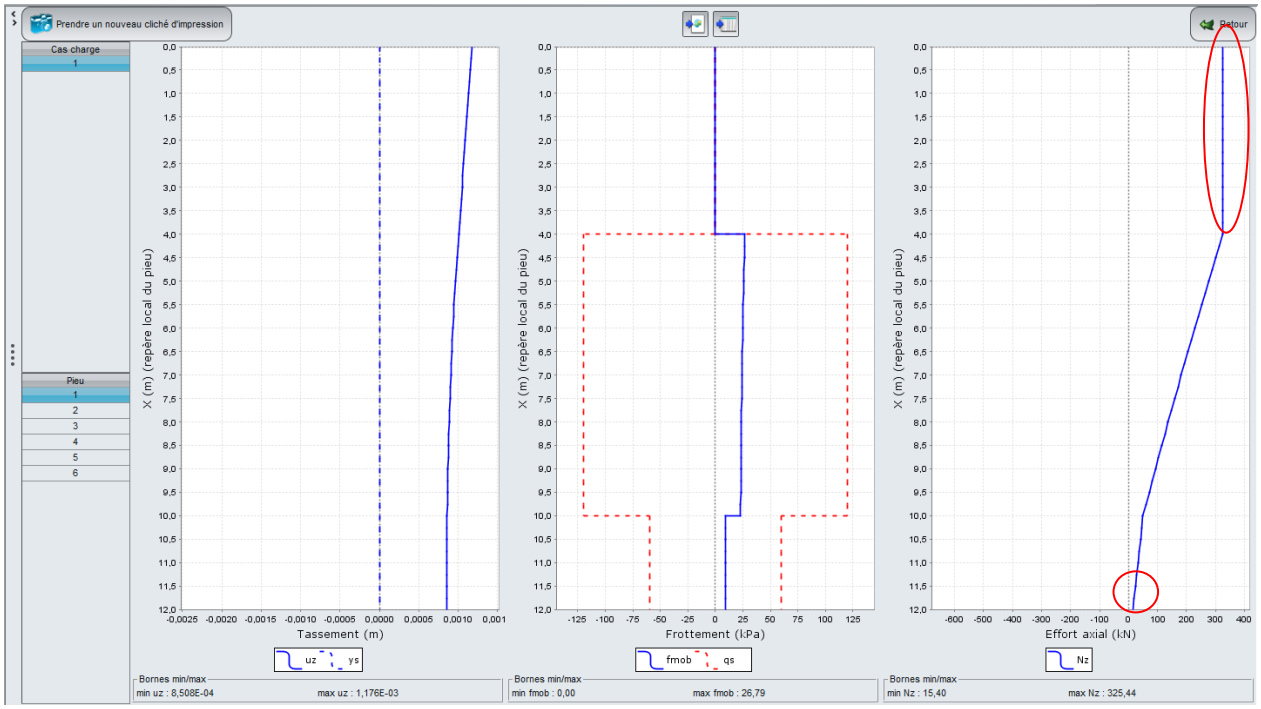
Pieu N°2 incliné



Comportement axial :

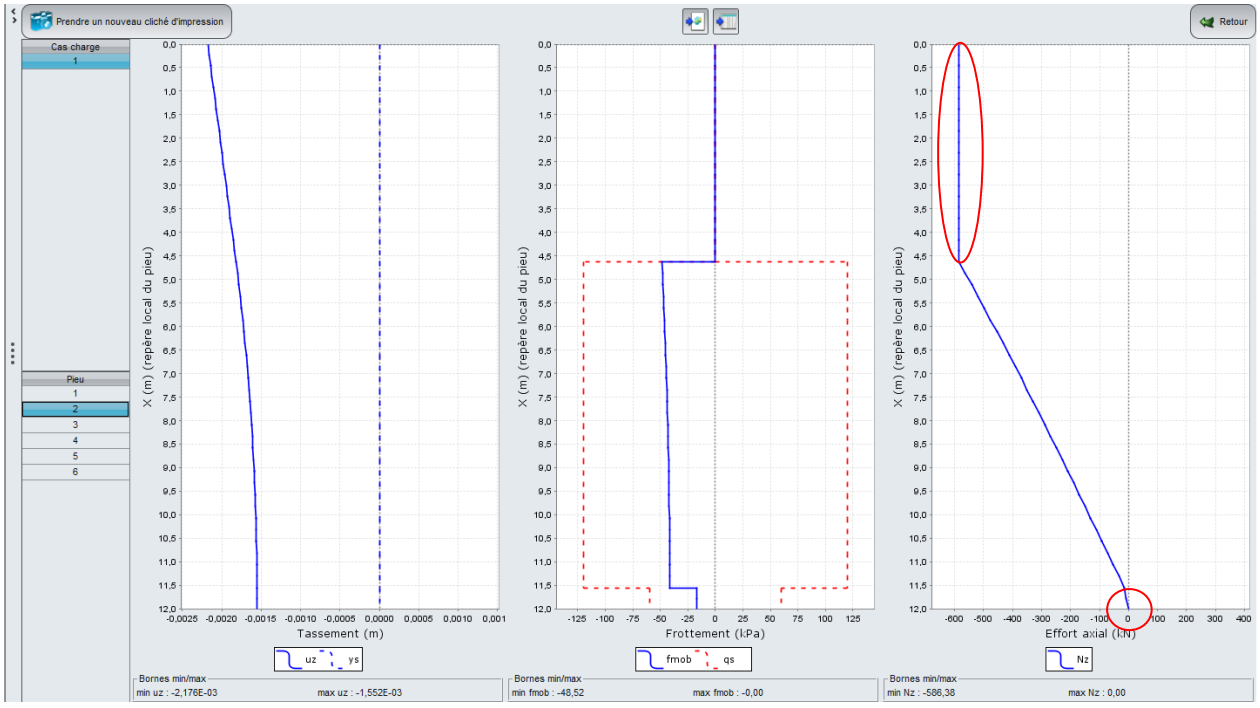
Pieu N°1 vertical

Les pieux verticaux travaillent en compression. Ils sont soumis à un effort en tête de 325 kN, la contribution de la pointe est de 15 kN. Le frottement étant négligé dans le remblai, l'effort axial reste constant dans cette première couche.



Pieu N°2 incliné

Les pieux inclinés sont sollicités en traction. L'effort en tête est égal à -586 kN, il est totalement équilibré par frottement à l'interface pieu/sol (l'effort en pointe est nul).

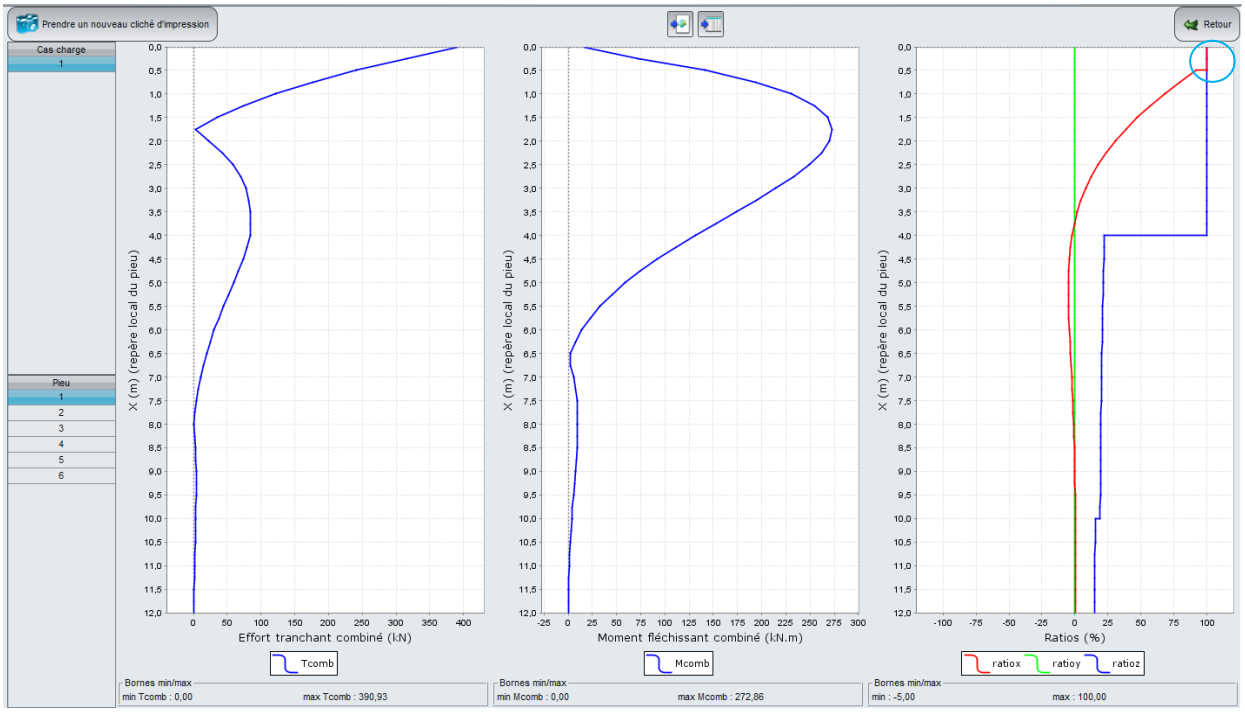


Résultats complémentaires :

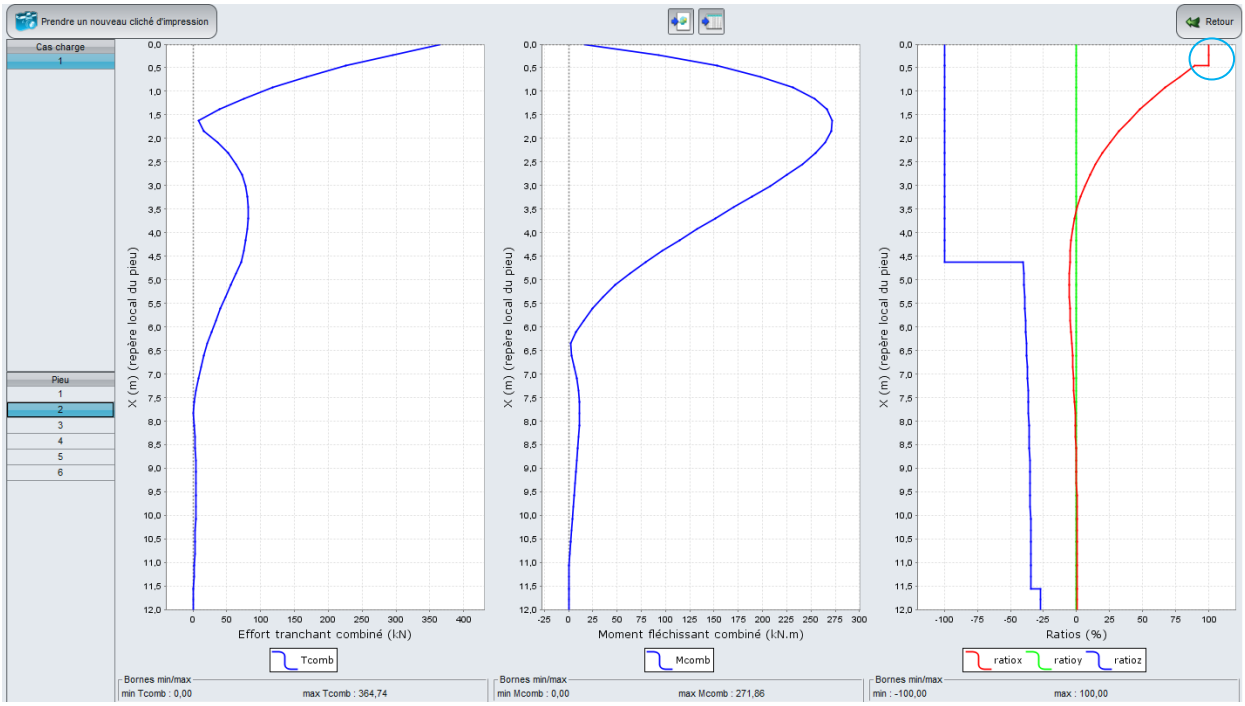
Ces diagrammes donnent les sollicitations latérales combinées, ainsi que le taux de mobilisation des réactions latérales et du frottement axial. Ces dernières courbes montrent que :

- Le sol est plastifié latéralement dans la direction x-x sur une longueur de 0,5 m ;
- Au-delà de la couche du remblai où le frottement a été négligé, la mobilisation du frottement axial reste élastique puisque les taux correspondants demeurent inférieurs à 50%.

Pieu N°1 vertical



Pieu N°2 incliné



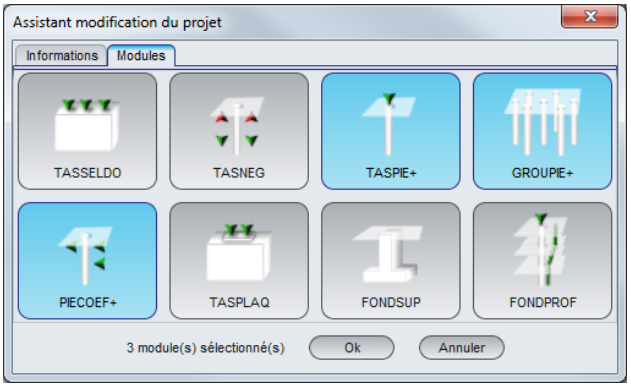
H.4.2.2. Etape 2 : mode Groupie Manuel

L'utilisation du mode Groupie Manuel nécessite la détermination des raideurs axiales et latérales équivalentes en tête de pieux à l'aide de Taspie+ et de Piecoef+. Ces raideurs vont servir de base pour le calcul de la distribution des efforts en tête de pieux par Groupie Manuel.

En effectuant des allers-retours entre les trois modules, les déplacements de la semelle, et par conséquent les efforts en tête de pieux, vont se stabiliser. Lorsque ces derniers ne varient quasiment plus, nous pouvons considérer que le calcul a convergé.

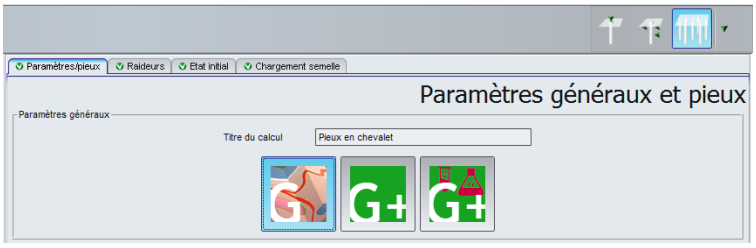
Ci-après la démarche à suivre pour effectuer ce calcul :

- Enregistrer le projet sous un nom différent, "Pieux en chevalet – mode Groupie" par exemple.
- Ajouter les modules Taspie+ et Piecoef+ au projet :
  - Menu projet, "Modifier les données et les modules du projet" ;
  - Onglet "Modules" : Sélectionner Taspie+ et Piecoef+, en plus de Groupie+.



- Cliquer sur le bouton

.
- Depuis la fenêtre du module Groupie+, sélectionner le mode Groupie Manuel.



- Basculer vers le module Taspie+ en cliquant sur

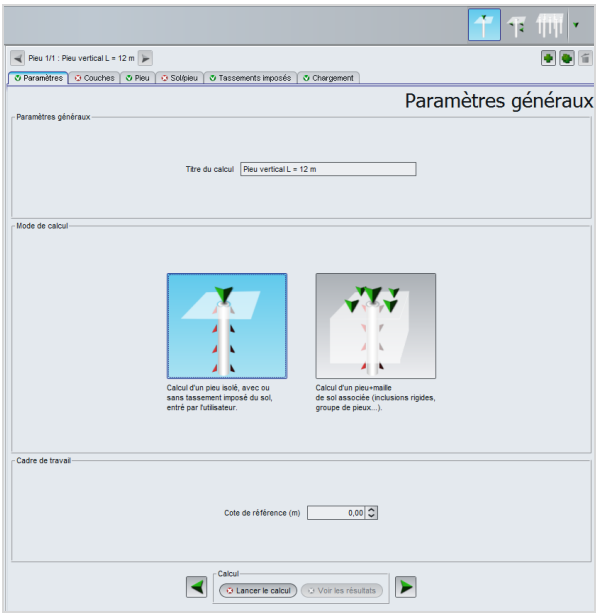
.

Dans ce module, nous allons construire un modèle d'un pieu vertical et un autre d'un pieu incliné.

H.4.2.2.1. Calcul de la raideur axiale d'un pieu vertical (Taspie+)

Onglet "Paramètres"

Cet onglet concerne les paramètres généraux du calcul.



Cadre "Paramètres généraux"

- Indiquer le titre du calcul : "Pieu vertical L = 12 m" par exemple.

Cadre "Type de calcul"

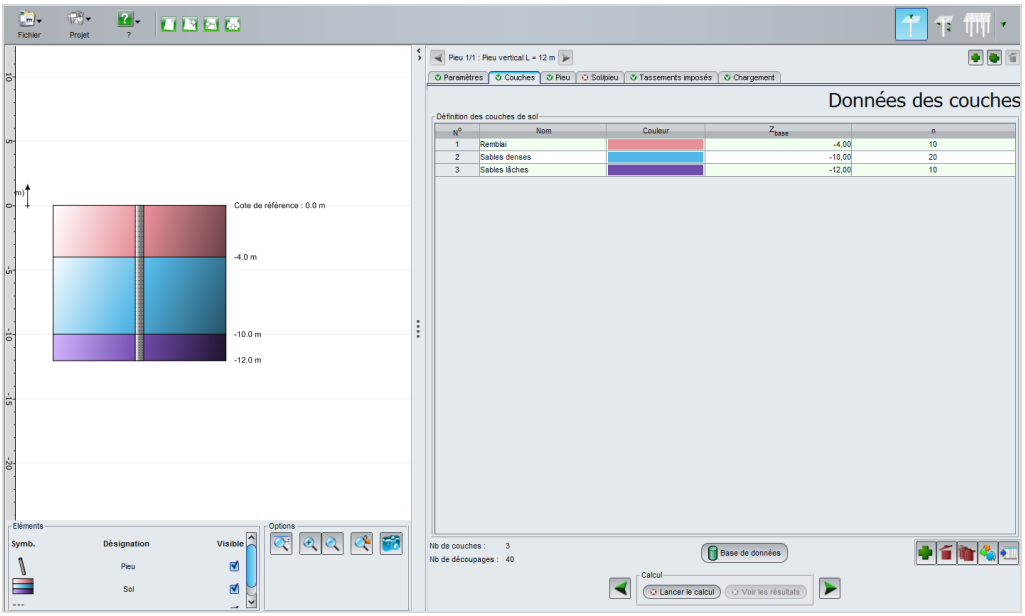
- Sélectionner "Calcul d'un pieu isolé".

Cadre "Cadre de travail"

- Cote de référence (m) : 0,00.

Onglet "Couches"

Cet onglet concerne la définition des couches de sol.



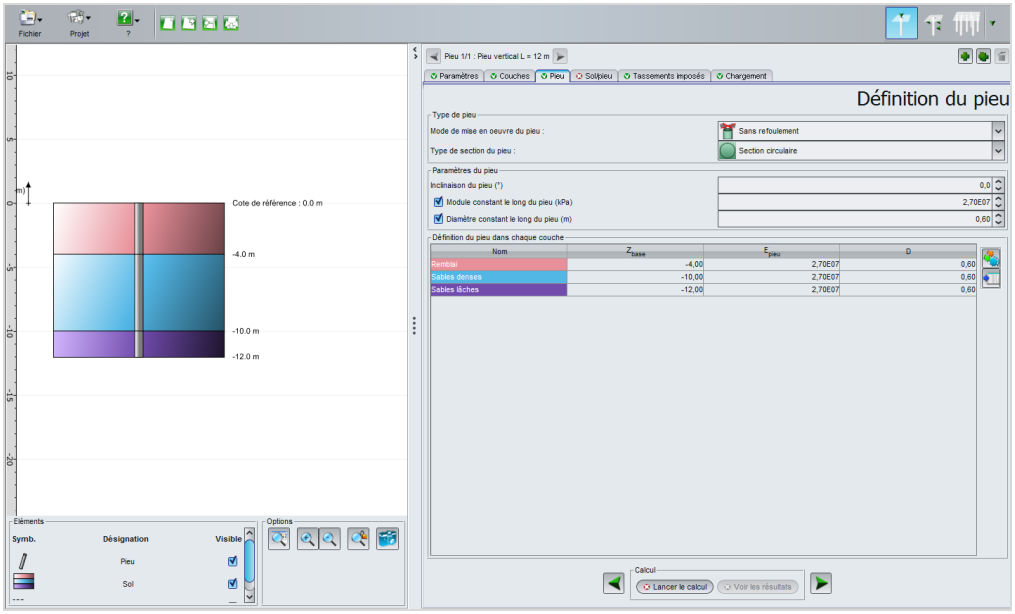
Cliquer sur le bouton pour créer chacune des couches.

Eléments à saisir pour les différentes couches de sol :

Nom	Z_{base} (m)	n
Remblai	-4,00	10
Sables denses	-10,00	20
Sables lâches	-12,00	10

Onglet "Pieu"

Cet onglet concerne les paramètres des pieux.



Cadre "Type de pieu"

- Mode de mise en œuvre de pieu : Sans refoulement ;
- Type de section du pieu : Section circulaire.

Cadre "Paramètres du pieu"

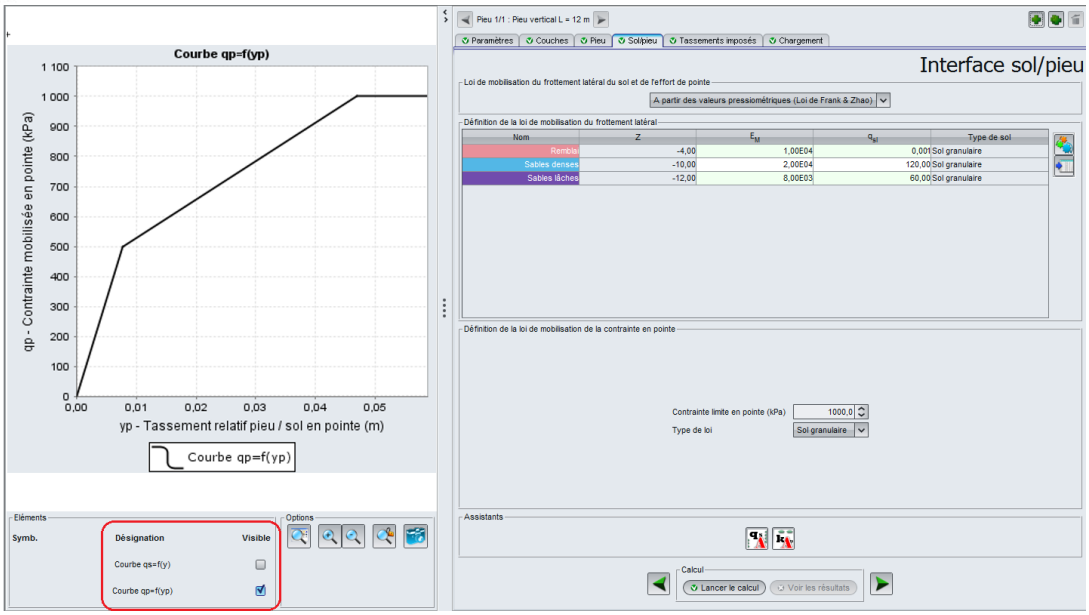
- Inclinaison du pieu (°) : 0,0 ;
- Module constant le long du pieu (kPa) : Coché : 2,70E07 ;
- Diamètre constant le long du pieu (m) : Coché : 0,60.

Cadre "Définition du pieu dans chaque couche"

Les caractéristiques étant constantes le long du pieu, les données ont été reprises automatiquement.

Onglet "Sol/Pieu"

Cet onglet concerne les lois de mobilisation du frottement et de l'effort en pointe.



Cadre "Loi de mobilisation de frottement latéral du sol et de l'effort de pointe"

- Choisir dans la liste déroulante : "A partir des valeurs pressiométriques (Loi de Frank & Zhao)".

Cadre "Définition de la loi de mobilisation du frottement latéral"

Les paramètres à saisir sont donnés ci-après :

Nom	Z_{base} (m)	E_M (kPa)	q_{sl} (kPa)	Type de sol
Remblai	-4,00	1,00E04	0,001	Sol granulaire
Sables denses	-10,00	2,00E04	120,00	Sol granulaire
Sables lâches	-12,00	8,00E03	60,00	Sol granulaire

Cadre "Définition de la loi de mobilisation de la contrainte en pointe"

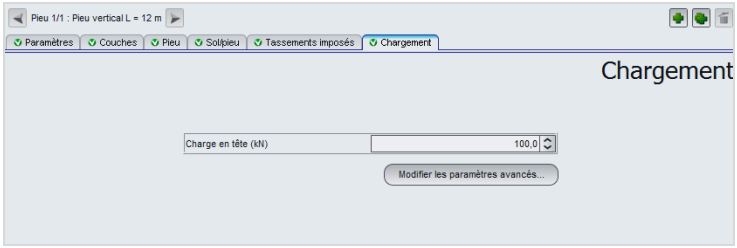
- Contrainte limite en pointe (kPa) : 1000,0 ;
- Type de loi : Sol granulaire.

Onglet "Tassements imposés"

Cet onglet n'est pas à renseigner pour cet exemple.

Onglet "Chargement"

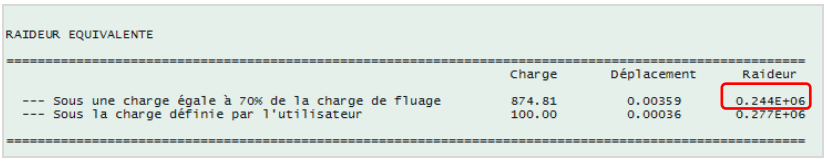
Saisir un chargement en tête du pieu de 100 kN. Pour ce calcul initial, cette valeur n'a pas une grande importance.



Calcul et résultats

Une fois les données obligatoires sont renseignées, le calcul peut être lancé.

La raideur axiale équivalente, utilisée pour le calcul Groupie Manuel, est donnée à la fin du fichier de "Résultats formatés". Pour ce calcul initial, on prend 2,44E05 kN/m qui correspond à la raideur équivalente sous une charge égale à 70% de la charge de fluage d'un pieu vertical.



```
RAIDEUR EQUIVALENTE

================================================================================================
                                                    Charge      Déplacement      Raideur
  --- Sous une charge égale à 70% de la charge de fluage        874.81          0.00359      0.244E+06
  --- Sous la charge définie par l'utilisateur                  100.00          0.00036      0.277E+06
================================================================================================
```

Afin de créer le modèle du pieu incliné, retourner aux données en cliquant sur le bouton

.

H.4.2.2.2. Calcul de la raideur axiale d'un pieu incliné (Taspie+)

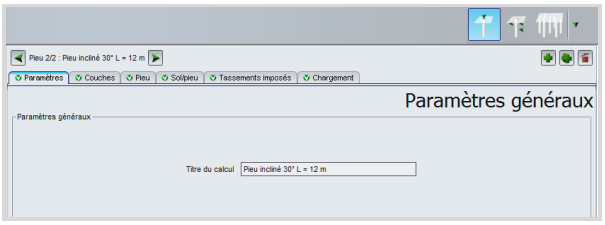
Nous allons dupliquer le pieu existant et y apporter quelques modifications spécifiques à l'inclinaison du pieu.

Pour ceci, cliquer sur le bouton "Dupliquer le pieu courant" .

Les onglets à modifier sont listés ci-après.

Onglet "Paramètres"

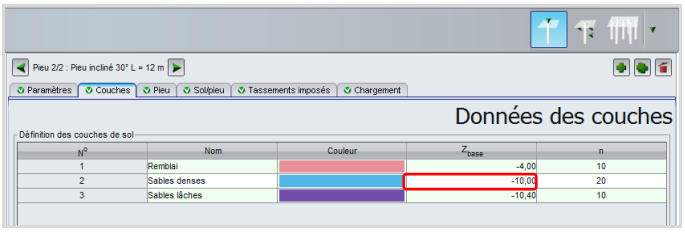
- Changer le titre du calcul. Par exemple : "Pieu incliné 30° L = 12 m".



Onglet "Couches"

Etant donné que l'on modélise un pieu incliné, la cote de la base de la dernière couche est à modifier.

- Cote de la couche "Sables lâches" : -10,40 m (pour obtenir un pieu de 12 m de longueur).

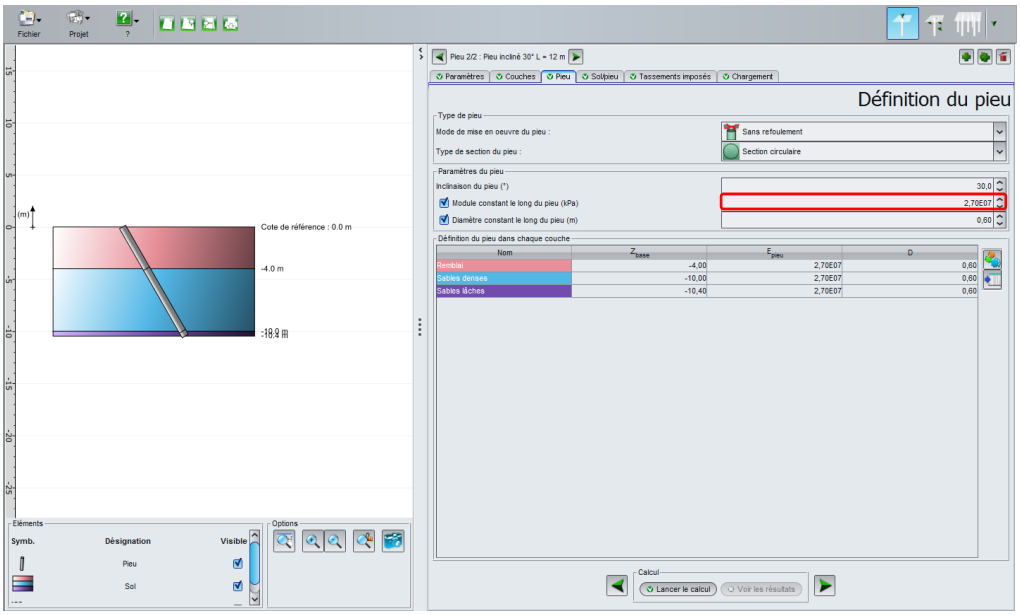


Onglet "Pieu"

La seule donnée à modifier est l'inclinaison du pieu :

Cadre "Paramètres du pieu"

- Inclinaison du pieu : 30°



Calculs et résultats

La raideur axiale μ nécessaire pour le calcul Groupie Manuel est indiquée à la fin du fichier de "Résultats formatés". Pour ce calcul initial, on prend 2,48E05 kN/m qui correspond à la raideur équivalente sous une charge égale à 70% de la charge de fluage d'un pieu incliné.

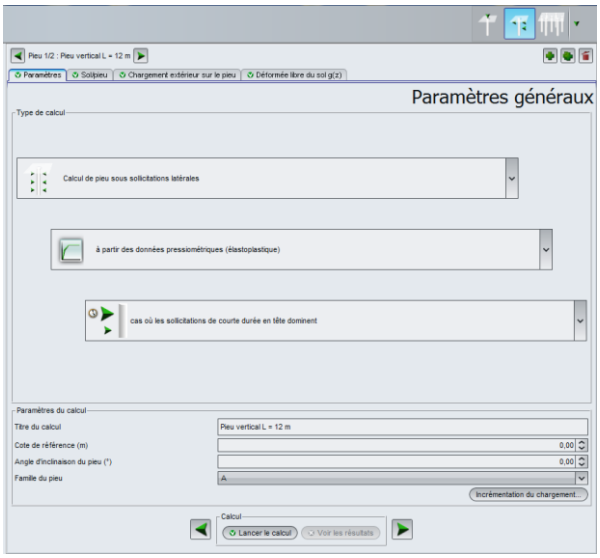
```
RAIDEUR EQUIVALENTE

================================================================================================================
                                                          Charge        Déplacement        Raideur

  --- Sous une charge égale à 70% de la charge de fluage   892.45        0.00360        0.248E+06
  --- Sous la charge définie par l'utilisateur             100.00        0.00036        0.279E+06

================================================================================================================
```

H.4.2.2.3. Calcul des raideurs latérales d'un pieu vertical (Piecoef+)

Passer au module Piecoef+ en cliquant sur l'icône correspondante

en haut de la fenêtre, à droite.

Onglet "Paramètres"



Cadre "Type de calcul"

Sélectionner :

- "Calcul de pieu sous sollicitations latérales" ;
- "A partir des données pressiométriques (élastoplastique)" ;
- "Cas où les sollicitations de courte durée en tête dominent".

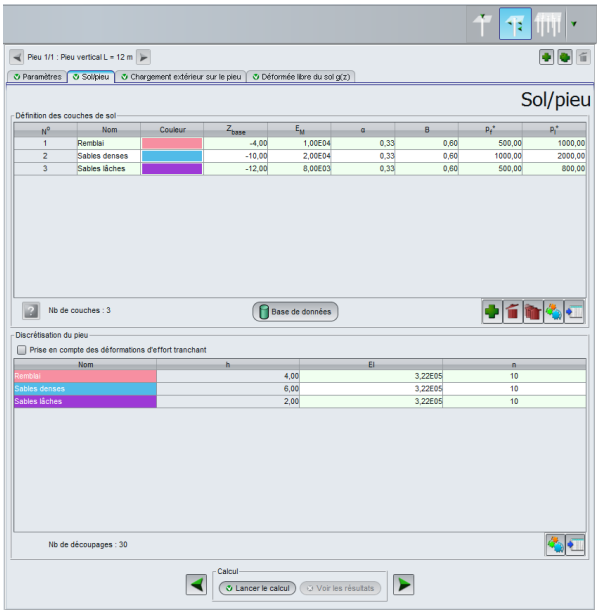
Cadre "Paramètres du calcul"

- Indiquer le titre du calcul : par exemple "Pieu vertical L = 12 m" ;
- Cote de référence (m) : 0,00.
- Angle d'inclinaison du pieu (°) : 0,00.
- Famille du pieu : A.

Nota : Afin de distinguer les pieux inclinés des pieux verticaux, nous leur attribuons une famille, ce qui permettra de les différencier lors de la construction du projet dans Groupie Manuel. Les pieux verticaux font partie de la famille A, les pieux inclinés font partie de la famille B.

Onglet "Sol/Pieu"

Cet onglet concerne la définition des couches de sol et la discrétisation du pieu.



Cadre "Définition des couches de sol"

Les paramètres à saisir sont donnés ci-après :

Nota : de même que pour Taspie+, le modèle s'arrête à la base du pieu.

Nom	Z_{base} (m)	E_M (kPa)	α	B (m)	p_f* (kPa)	p_l* (kPa)
Remblais	-4,00	1,00E04	0,33	0,60	500	1000
Sables denses	-10,00	2,00E04	0,33	0,60	1000	2000
Sables lâches	-12,00	8,00E03	0,33	0,60	500	800

Cadre "Discrétisation du pieu"

Prise en compte des déformations d'effort tranchant : Décochée.

Saisir les propriétés du pieu pour chaque couche :

- Produit d'inertie du pieu EI ;
- Nombre de subdivisions de la couche n.

L'épaisseur de la couche h est déduite automatiquement des données saisies précédemment.

Nom	h (m)	E.I (kN.m^2)	n
Remblai	4,00	3,22E05	10
Sables denses	6,00	3,22E05	20
Sables lâches	2,00	3,22E05	10

Onglet "Chargement extérieur sur le pieu"

Cet onglet n'est pas à renseigner pour cette phase de calcul.

Nota : Le calcul des raideurs latérales s'effectue dans un premier temps pour un pieu non chargé.

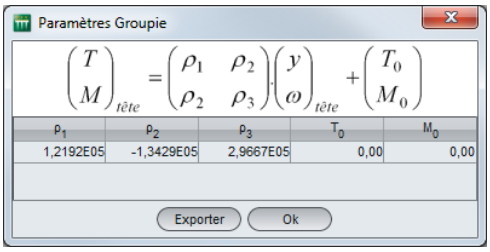
Onglet "Déformée libre du sol g(z)"

Cet onglet n'est pas à renseigner pour cet exemple.

Calcul et résultats

Une fois les données obligatoires sont renseignées, le calcul peut être lancé.

Les raideurs latérales ρ utilisées pour le calcul Groupie Manuel sont accessibles depuis les "Courbes principales" en utilisant le bouton Paramètres Groupie. Ce tableau affiche les résultats du calcul d'un pieu vertical (famille A).



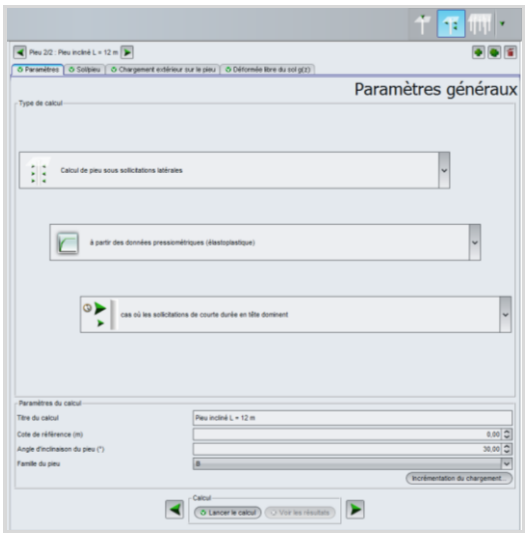
Ces raideurs seront importées dans Groupie Manuel à l'aide de l'assistant d'import.

Afin de modéliser les pieux inclinés, retourner dans la partie saisie des données en cliquant sur le bouton Retour puis sur le bouton Retour aux données.

H.4.2.2.4. Calcul des raideurs latérales d'un pieu incliné (Piecoef+)

Cliquer sur le bouton pour dupliquer le modèle du pieu N°1 (pieu vertical) vers le pieu N°2 (pieu incliné).

Onglet "Paramètres"



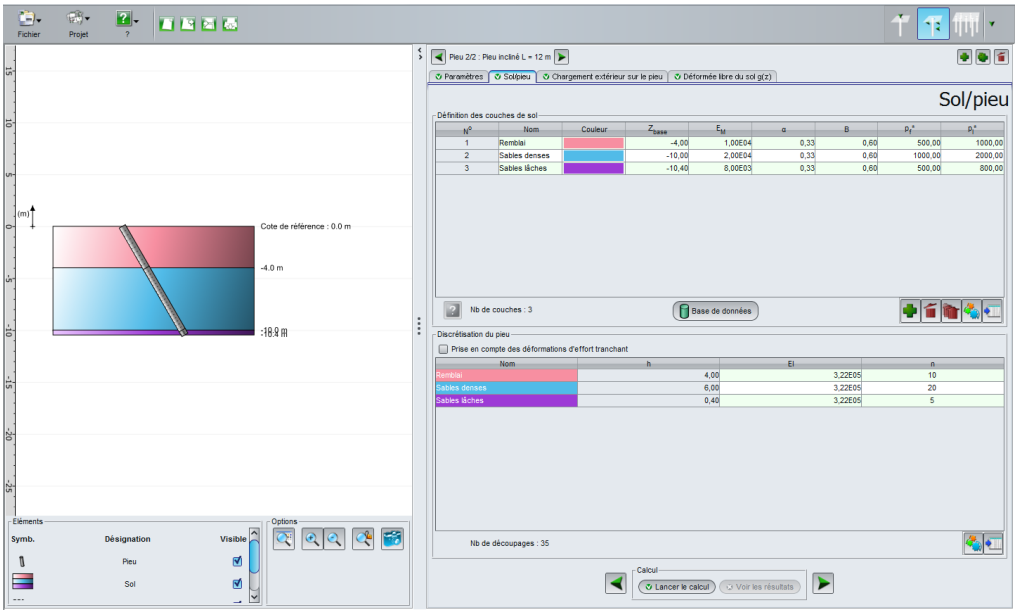
Modifier les paramètres suivants :

Cadre "Paramètres du calcul"

- Modifier le titre du calcul : "Pieu incliné L = 12 m" par exemple ;
- Angle d'inclinaison du pieu (°) : 30,00 ;
- Famille de pieu : B.

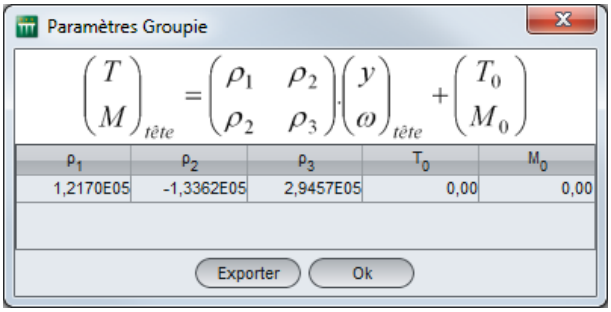
Onglet "Sol/Pieu"

La cote de la base de la dernière couche de sol (sables lâches) est à modifier pour obtenir un pieu de 12 m de longueur. On prend Z_{base} = -10,40 m.



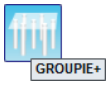
Calcul et résultats

Les raideurs latérales ρ utilisées pour le calcul Groupie Manuel sont comme suit (famille B).



Ces raideurs seront importées dans Groupie Manuel à l'aide de l'assistant d'import.

H.4.2.2.5. Distribution des efforts en tête des pieux (Groupie Manuel)

Passer au module Groupie+ en cliquant sur le bouton 

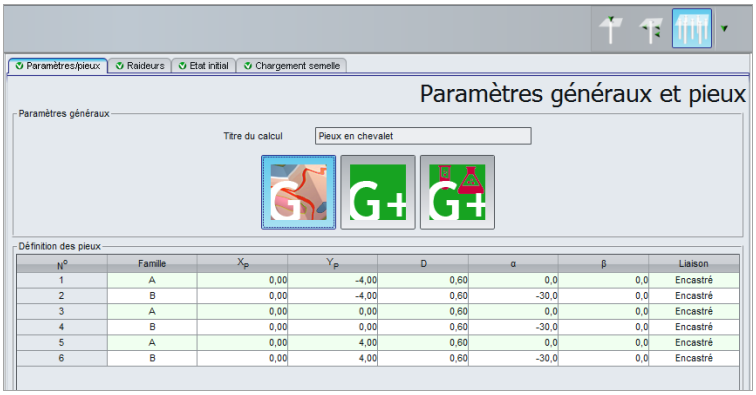
.

Onglet "Paramètres/pieux"

Cet onglet concerne la définition des pieux.

Cadre "Paramètres généraux"

- Indiquer le titre du calcul : "Pieux en chevalet" par exemple ;
- Sélectionner Groupie Manuel.



Cadre "Définition des pieux"

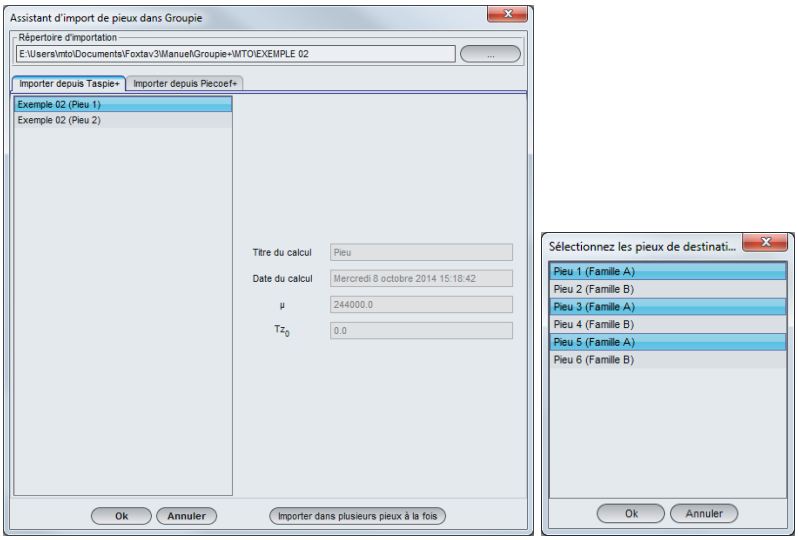
Saisir les caractéristiques suivantes :

N°	Famille	X_P (m)	Y_P (m)	D (m)	α (°)	β (°)	Liaison
1	A	0,00	-4,00	0,60	0,00	0,00	Encastré
2	B	0,00	-4,00	0,60	-30,00	0,00	Encastré
3	A	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	Encastré
4	B	0,00	0,00	0,60	-30,00	0,00	Encastré
5	A	0,00	4,00	0,60	0,00	0,00	Encastré
6	B	0,00	4,00	0,60	-30,00	0,00	Encastré

Onglet "Raideurs"

Cet onglet, ainsi que l'onglet suivant, permettent de définir les raideurs en têtes de pieux. Leurs valeurs s'importent depuis les modèles Taspie+ et Piecoef+ établis précédemment. La démarche d'importation est la suivante :

- Cliquer sur la première ligne du tableau et utiliser l'assistant d'importation :

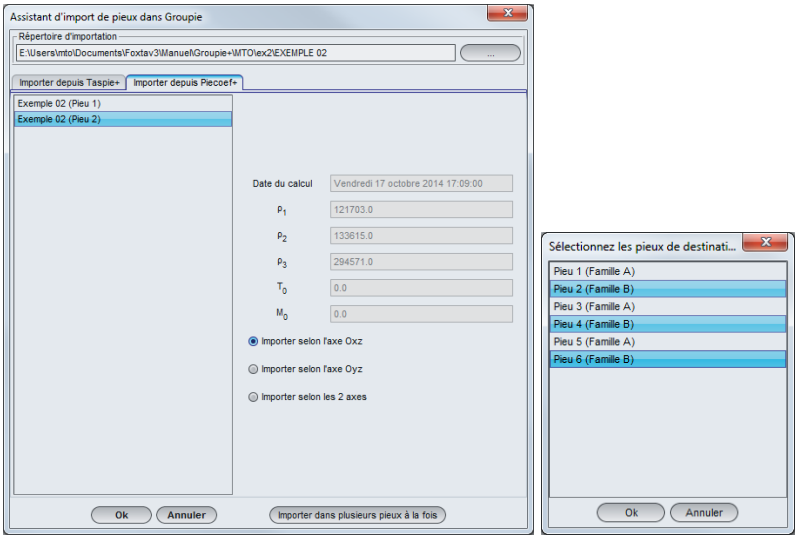


Onglet "Importer depuis Taspie+" :

- Sélectionner "Exemple 02 (pieu 1) ", et prendre soin d'importer ces valeurs pour les pieux de la famille A (pieux verticaux) en cliquant sur le bouton Importer dans plusieurs pieux à la fois. Sélectionner à l'aide de la souris les 3 pieux de la famille A. Cliquer sur le bouton OK des deux fenêtres de l'assistant.
- Répéter l'opération avec le pieu n°2 en prenant soin d'importer dans plusieurs pieux à la fois, et sélectionner les 3 pieux de la famille B (pieux inclinés).

Onglet "Importer depuis Piecoef+" :

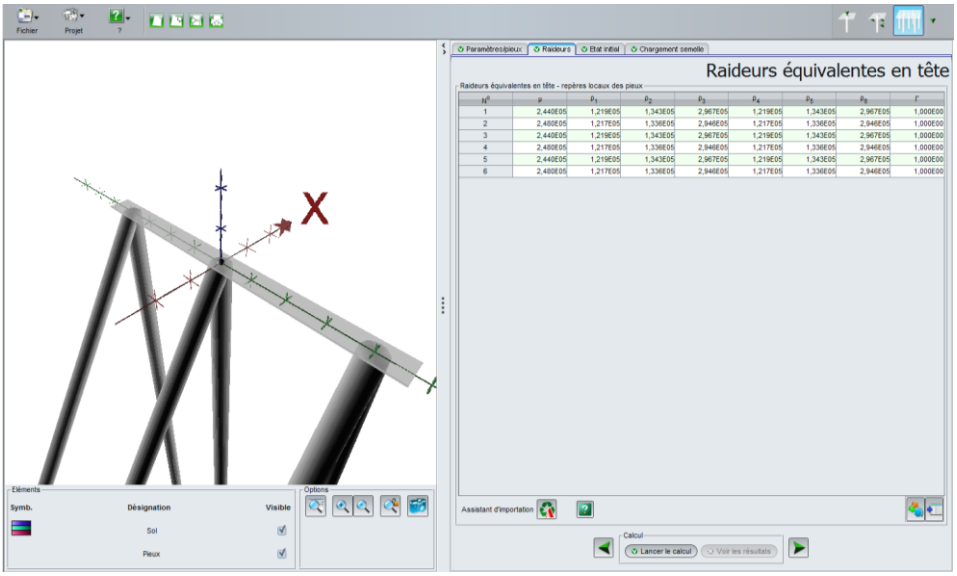
- Sélectionner "Exemple 02 (pieu 1) ", choisir "Importer selon les deux axes" et prendre soin d'importer ces valeurs pour tous les pieux de la famille A (pieux verticaux) en cliquant sur le bouton Importer dans plusieurs pieux à la fois Cliquer sur le bouton OK.
- Répéter l'opération avec le pieu n°2 en prenant soin d'importer dans plusieurs pieux à la fois, et sélectionner tous les pieux de la famille B (pieux inclinés).



- La raideur en torsion équivalente Y, par défaut égale à 1, n'est pas modifiée.

A l'issue de ces opérations, on obtient le tableau suivant :

N°	μ (kN/m)	ρ_1 (kN/m)	ρ_2 (kN)	ρ_3 (kN.m/rad)	ρ_4 (kN/m)	ρ_5 (kN)	ρ_6 (kN.m/rad)	Γ (kN.m/rad)
1	2,440E05	1,219E05	1,343E05	2,967E05	1,219E05	1,343E05	2,967E05	1,000E00
2	2,480E05	1,217E05	1,336E05	2,946E05	1,217E05	1,336E05	2,946E05	1,000E00
3	2,440E05	1,219E05	1,343E05	2,967E05	1,219E05	1,343E05	2,967E05	1,000E00
4	2,480E05	1,217E05	1,336E05	2,946E05	1,217E05	1,336E05	2,946E05	1,000E00
5	2,440E05	1,219E05	1,343E05	2,967E05	1,219E05	1,343E05	2,967E05	1,000E00
6	2,480E05	1,217E05	1,336E05	2,946E05	1,217E05	1,336E05	2,946E05	1,000E00

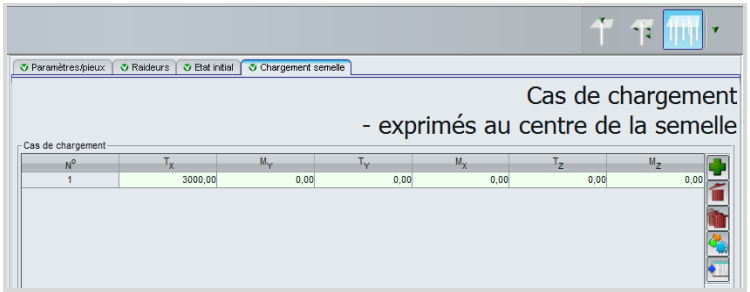


Onglet "Etat initial"

Cet onglet se remplit automatiquement lors de l'importation des raideurs (opération effectuée dans l'onglet précédent). Toutes les valeurs restent nulles pour cette phase initiale.

Onglet "Chargement semelle"

Il s'agit du même cas de charge que pour l'étape 1 de l'exemple.



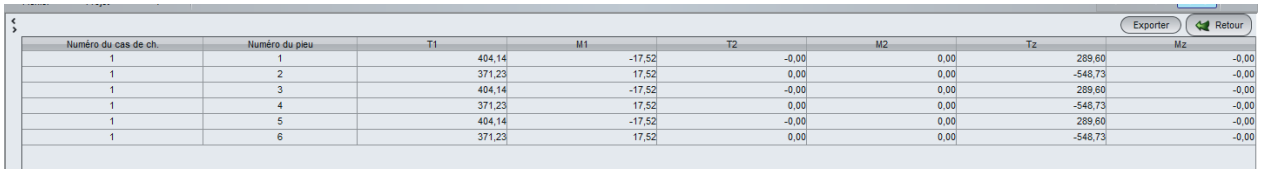
Définir un cas de chargement en prenant les valeurs suivantes :

N°	T_X (kN)	M_Y (kN.m)	T_Y (kN)	M_x (kN.m)	T_Z (kN)	M_z (kN.m)
1	3000	0	0	0	0	0

Calcul et résultats

Résultats numériques

Tableau de résultats :



Exporter | Retour

Numéro du cas de ch.	Numéro du pieu	T1	M1	T2	M2	Tz	Mz
1	1	404,14	-17,52	-0,00	0,00	289,60	-0,00
1	2	371,23	17,52	0,00	0,00	-548,73	-0,00
1	3	404,14	-17,52	-0,00	0,00	289,60	-0,00
1	4	371,23	17,52	0,00	0,00	-548,73	-0,00
1	5	404,14	-17,52	-0,00	0,00	289,60	-0,00
1	6	371,23	17,52	0,00	0,00	-548,73	-0,00

Noter les valeurs obtenues pour chaque type de pieu :

Pieu vertical (famille A) :

- ✓ Effort latéral en tête dans le plan (Pxz) : T1 = 404,14 kN
- ✓ Moment de flexion en tête dans le plan (Pxz) : M1 = -17,52 kN.m
- ✓ Effort axial en tête : Tz = 289,6 kN

Pieu incliné (famille B) :

- ✓ Effort latéral en tête dans le plan (Pxz) : T1 = 371,23 kN
- ✓ Moment de flexion en tête dans le plan (Pxz) : M1 = 17,52 kN.m
- ✓ Effort axial en tête : Tz = -548,73 kN

Il s'agit maintenant d'actualiser les différentes raideurs prises en compte dans le calcul Groupie Manuel. On reprend pour cela les modèles Taspie+ et Piecoef+ en introduisant les efforts en têtes de pieux présentés ci-dessus. Cette opération consistant en l'actualisation des raideurs suivi du calcul Groupie Manuel est à refaire jusqu'à ce que la distribution des efforts ne change quasiment plus. On parle alors de convergence du processus itératif.

Enregistrer votre projet sous un nom différent : "Ex2 itération1", par exemple.

Revenir au module Taspie+ en cliquant sur l'icône correspondante

et se positionner sur le pieu N°1.

H.4.2.2.6. Actualisation de la raideur axiale d'un pieu vertical (Taspie+)

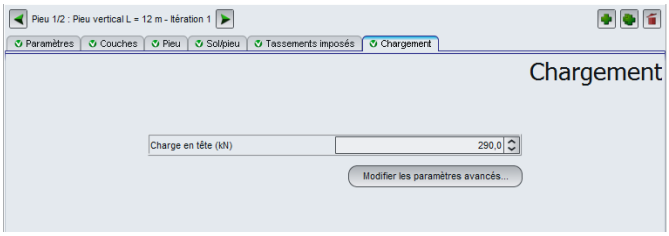
Onglet "Paramètres"

- Modifier le Titre du calcul : "Pieu vertical L= 12 m – Itération 1" par exemple.

Onglet "Chargement"

Saisir l'effort obtenu précédemment pour un pieu vertical suite au calcul Groupie Manuel.

- Charge en tête : 290,0 kN



Calcul et résultats

Noter que la raideur obtenue sous la charge définie par l'utilisateur est de 2,77E05 kN/m pour le pieu vertical. La raideur a évoluée. La raideur axiale est plus grande que ce qui a été prévu initialement.

```
RAIDEUR EQUIVALENTE

================================================================================================
                                                        Charge       Déplacement      Raideur

  --- Sous une charge égale à 70% de la charge de fluage        874.81         0.00359       0.244E+06
  --- Sous la charge définie par l'utilisateur                  290.00         0.00105       0.277E+06

================================================================================================
```

Nous allons procéder de la même manière pour le pieu incliné.

Basculer vers le pieu incliné (Pieu N°2) en cliquant sur le bouton .

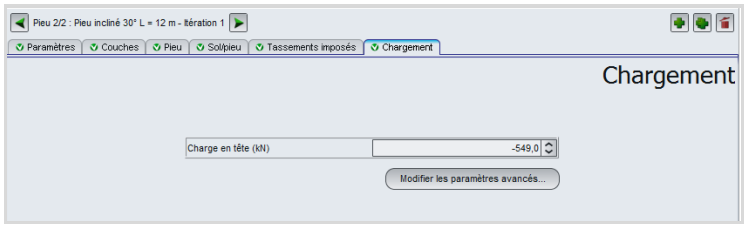
H.4.2.2.7. Actualisation de la raideur axiale d'un pieu incliné (Taspie+)

Onglet "Paramètres"

- Modifier le Titre du calcul : "Pieu incliné 30° L = 12 m - Itération 1" par exemple.

Onglet "Chargement"

- Saisir le chargement issu du calcul Groupie Manuel : -549,0 kN



Calcul et résultats

Noter que la raideur obtenue sous la charge définie par l'utilisateur est de 2,70E05 kN/m pour le pieu incliné.

```
RAIDEUR EQUIVALENTE

================================================================================================
                                                        Charge       Déplacement      Raideur

  --- Sous une charge égale à 70% de la charge de fluage        -793.49        -0.00298       0.266E+06
  --- Sous la charge définie par l'utilisateur                  -549.00        -0.00203       0.270E+06

================================================================================================
```

H.4.2.2.8. Actualisation des raideurs latérales d'un pieu vertical (Piecoef+)

Il s'agit de déterminer, pour le couple effort latéral - moment de flexion obtenu, les nouvelles raideurs équivalentes en tête. On reprend pour cela les modèles Piecoef+, en définissant les charges en tête des pieux.

Passer au module Piecoef+ en cliquant sur l'icône correspondante

.

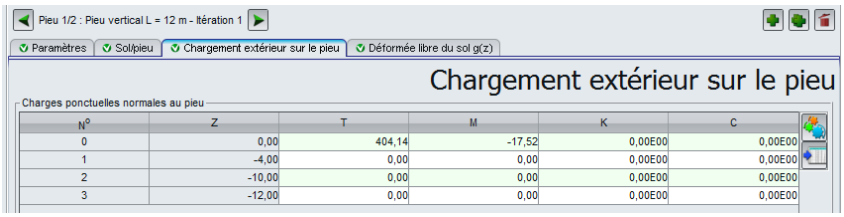
Onglet "Paramètres"

- Modifier le titre du calcul : "Pieu vertical L = 12 m - Itération 1" par exemple.

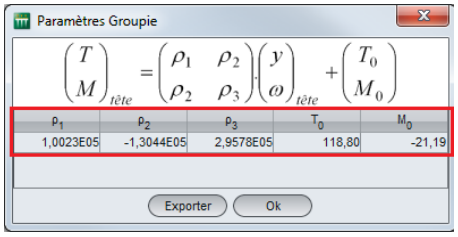
Onglet "Chargement extérieur sur le pieu"

Saisir l'effort latéral T1 et le moment de flexion M1 en tête du pieu vertical.

- Effort latéral ponctuel T : 404,14 kN
- Moment fléchissant ponctuel M : -17,52 kN.m



Calcul et résultats



Les raideurs obtenues seront importées dans Groupie Manuel, grâce à l'assistant d'importation.

Nous allons procéder de la même manière pour le pieu incliné.

H.4.2.2.9. Actualisation des raideurs latérales d'un pieu incliné (Piecoef+)

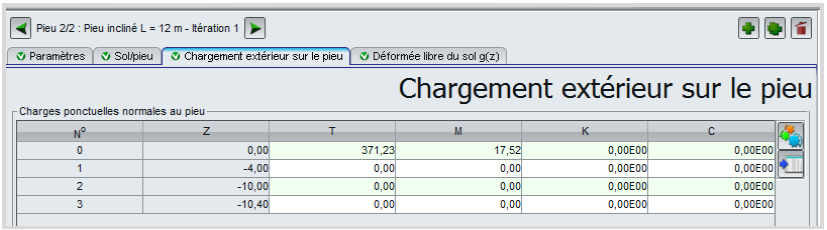
Onglet "Paramètres"

- Modifier le titre du calcul : "Pieu incliné L = 12 m - Itération 1" par exemple.

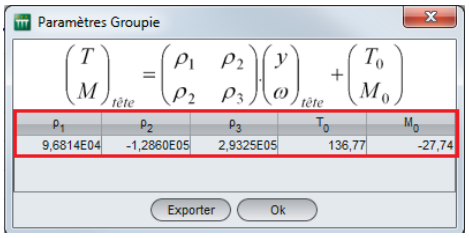
Onglet "Chargement extérieur sur le pieu"

Saisir les efforts suivants en tête du pieu incliné :

- Effort latéral ponctuel T : 371,23 kN
- Moment fléchissant ponctuel M : 17,52 kN.m



Calcul et résultats



Nous allons maintenant recalculer la nouvelle distribution des efforts en têtes des pieux suite à l'actualisation des raideurs équivalentes.

Pour ceci, cliquer sur le bouton

et accéder directement à l'onglet "Raideurs".

H.4.2.2.10. Distribution des efforts – 1ère itération (Groupie Manuel)

Onglet "Raideurs"

Il faut mettre à jour les raideurs issus des nouveaux calculs Taspie+ et Piecoef+.

- Saisir la raideur axiale équivalente définie par l'utilisateur pour chaque type de pieu, issue des calculs Taspie+ :
  - pieu vertical μ : 2,77E05 kN/m
  - pieu incliné μ : 2,70E05 kN/m

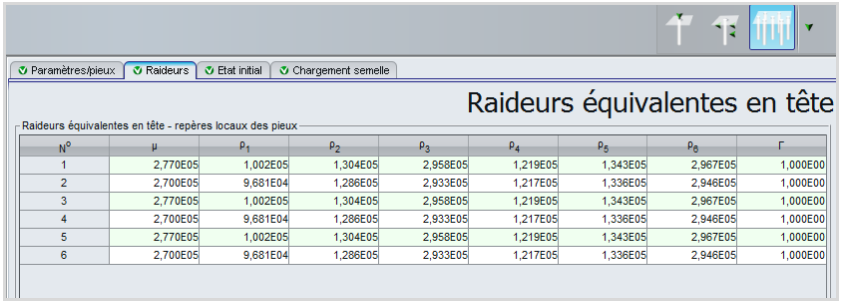
  Nota : ces raideurs sont à saisir manuellement sans passer par l'assistant d'importation. En effet, l'assistant pointe toujours vers les raideurs correspondant à 70% de la charge de fluage.

- Importer les différentes raideurs ρ_1 à ρ_6 obtenues depuis Piecoef+ :
  - sélectionner une ligne dans le tableau puis cliquer sur le bouton "Assistant d'importation" ;
  - depuis l'onglet "Importer depuis Piecoef+", sélectionner le pieu N°1 ;
  - cocher le radio bouton "Importer selon l'axe oxz" ;
  - cliquer sur le bouton "Importer dans plusieurs pieux à la fois" et sélectionner tous les pieux de la famille A (pieux verticaux).
  - cliquer sur le bouton "OK" sur les deux fenêtres de l'assistant.

Répéter l'opération pour le pieu N°2, en prenant soin d'importer dans plusieurs pieux à la fois et de sélectionner uniquement les pieux de la famille B (pieux inclinés).

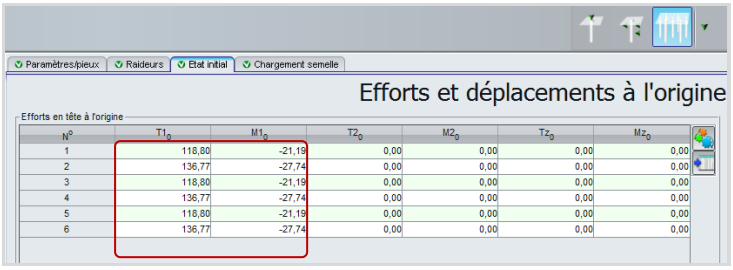
Au terme de ces opérations, le tableau de raideurs contient les valeurs suivantes :

N°	μ (kN/m)	ρ_1 (kN/m)	ρ_2 (kN)	ρ_3 (kN.m/rad)	ρ_4 (kN/m)	ρ_5 (kN)	ρ_6 (kN.m/rad)	Υ (kN.m/rad)
1	2,770E05	1,002E05	1,304E05	2,958E05	1,219E05	1,343E05	2,967E05	1,000E00
2	2,700E05	9,681E04	1,286E05	2,933E05	1,217E05	1,336E05	2,946E05	1,000E00
3	2,770E05	1,002E05	1,304E05	2,958E05	1,219E05	1,343E05	2,967E05	1,000E00
4	2,700E05	9,681E04	1,286E05	2,933E05	1,217E05	1,336E05	2,946E05	1,000E00
5	2,770E05	1,002E05	1,304E05	2,958E05	1,219E05	1,343E05	2,967E05	1,000E00
6	2,700E05	9,681E04	1,286E05	2,933E05	1,217E05	1,336E05	2,946E05	1,000E00



Onglet "Etat initial"

Lors de l'import des raideurs dans les plans oxz, Groupie Manuel renseigne automatiquement pour chaque pieu, les efforts à l'origine. Il est à noter que ces valeurs ne sont plus nulles ce qui traduit une plastification du sol dans le sens latéral x-x. Ce constat est visualisable en accédant aux résultats graphiques des modèles Piecoef+.

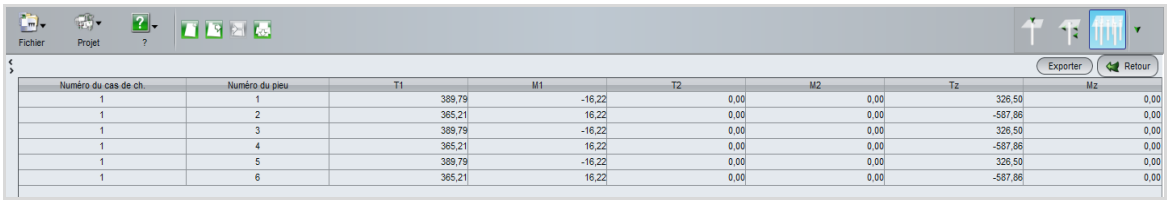


N°	$T1_0$	$M1_0$	$T2_0$	$M2_0$	Tz_0	Mz_0
1	118,80	-21,19	0,00	0,00	0,00	0,00
2	136,77	-27,74	0,00	0,00	0,00	0,00
3	118,80	-21,19	0,00	0,00	0,00	0,00
4	136,77	-27,74	0,00	0,00	0,00	0,00
5	118,80	-21,19	0,00	0,00	0,00	0,00
6	136,77	-27,74	0,00	0,00	0,00	0,00

Calcul et résultats

Relancer à présent le calcul en cliquant sur le bouton

puis accéder aux tableaux de résultats.



Numéro du cas de ch.	Numéro du pieu	T1	M1	T2	M2	Tz	Mz
1	1	389,79	-16,22	0,00	0,00	326,50	0,00
1	2	365,21	16,22	0,00	0,00	-587,86	0,00
1	3	389,79	-16,22	0,00	0,00	326,50	0,00
1	4	365,21	16,22	0,00	0,00	-587,86	0,00
1	5	389,79	-16,22	0,00	0,00	326,50	0,00
1	6	365,21	16,22	0,00	0,00	-587,86	0,00

Noter les valeurs obtenues pour chaque type de pieu :

Pieu vertical :

- ✓ T1 : 389,79 kN
- ✓ M1 : -16,22 kN.m
- ✓ Tz : 326,50 kN

Pieu incliné :

- ✓ T1 : 365,21 kN
- ✓ M1 : 16,22 kN.m
- ✓ Tz : -587,86 kN

Les efforts en têtes des pieux ont évolués, on procèdera alors à une deuxième itération.

Enregistrer votre projet sous un nom différent : "Ex2 itération 2" par exemple

Retourner dans le module Taspie+ en cliquant sur l'icône correspondante

et afficher le pieu N°1.

H.4.2.2.11. Actualisation de la raideur axiale d'un pieu vertical (Taspie+)

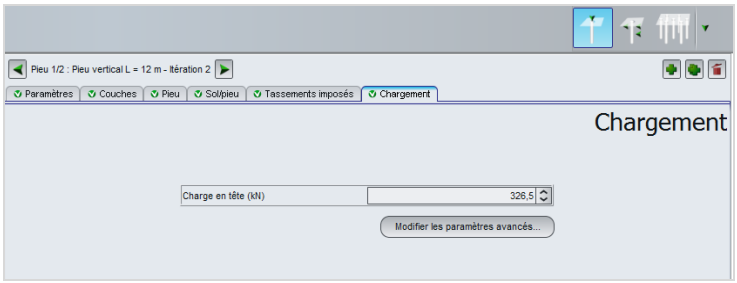
Onglet "Paramètres"

Changer le titre du calcul : "Pieu vertical L = 12 m - Itération 2" par exemple.

Onglet "Chargement"

Saisir la valeur Tz issue du calcul Groupie Manuel, pour un pieu vertical :

- Charge en tête : 326,5 kN



Calcul et résultats

On constate que la raideur équivalente sous la nouvelle charge définie par l'utilisateur est strictement identique à celle de la première itération : 2,77E05 kN/m.

```
RAIDEUR EQUIVALENTE

================================================================================================================
                                                          Charge        Déplacement       Raideur

  --- Sous une charge égale à 70% de la charge de fluage    874.81         0.00359       0.244E+06
  --- Sous la charge définie par l'utilisateur              326.50         0.00118       0.277E+06

================================================================================================================
```

Répéter l'opération pour un pieu incliné.

H.4.2.2.12. Actualisation de la raideur axiale d'un pieu incliné (Taspie+)

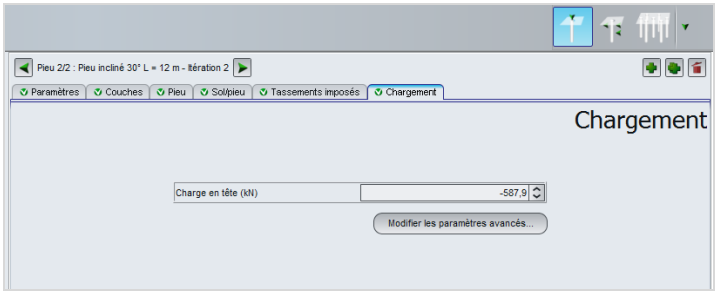
Onglet "Paramètres"

Changer le titre du calcul : "Pieu incliné 30° L = 12 m - Itération 2" par exemple.

Onglet "Chargement"

Saisir la valeur Tz pour un pieu incliné, issue du calcul Groupie Manuel :

- Charge en tête : -587,9 kN



Calcul et résultats

On constate que la raideur équivalente sous la nouvelle charge définie par l'utilisateur est strictement identique à celle de la première itération : 2,70E05 kN/m.

```
RAIDEUR EQUIVALENTE

================================================================================================================
                                                          Charge        Déplacement       Raideur

  --- Sous une charge égale à 70% de la charge de fluage    -793.49        -0.00298       0.266E+06
  --- Sous la charge définie par l'utilisateur              -587.86        -0.00218       0.270E+06

================================================================================================================
```

Basculer vers le module Piecoef+ et se positionner sur le pieu vertical (Pieu N°1).

H.4.2.2.13. Actualisation des raideurs latérales d'un pieu vertical (Piecoef+)

Onglet "Paramètres"

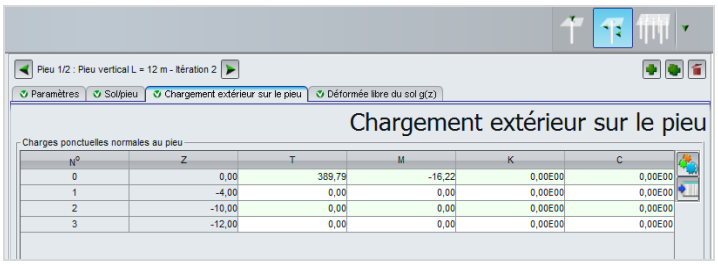
Cadre "Paramètres de calcul"

- Changer le titre du calcul : "Pieu vertical L = 12 m - Itération 2" par exemple.

Onglet "Chargement extérieur sur le pieu"

Le chargement est défini par :

- Effort latéral ponctuel T : 389,79 kN
- Moment fléchissant ponctuels M : -16,22 kN.m



N°	Z	T	M	K	C
0	0,00	389,79	-16,22	0,00E00	0,00E00
1	-4,00	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
2	-10,00	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
3	-12,00	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00

Relancer à présent le calcul. Les nouvelles raideurs seront importées dans Groupie Manuel grâce à l'assistant d'importation.

Répéter l'opération pour le pieu incliné.

H.4.2.2.14. Actualisation des raideurs latérales d'un pieu incliné (Piecoef+)

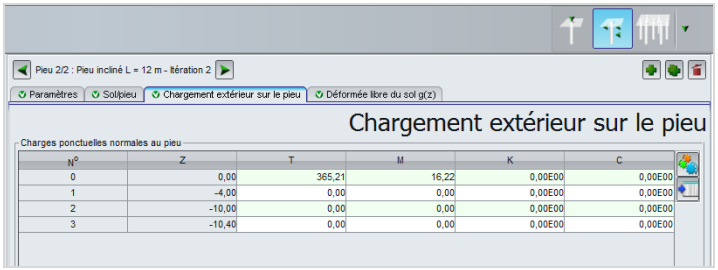
Onglet "Paramètres"

Changer le titre du calcul : "Pieu incliné L = 12 m - Itération 2" par exemple.

Onglet "Chargement extérieur sur le pieu"

Le chargement est défini par :

- Effort latéral T : 365,21 kN
- Moment fléchissant ponctuel M : 16,22 kN.m



N°	Z	T	M	K	C
0	0,00	365,21	16,22	0,00E00	0,00E00
1	-4,00	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
2	-10,00	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00
3	-10,40	0,00	0,00	0,00E00	0,00E00

Calcul et résultats

Relancer à présent le calcul. Les nouvelles raideurs obtenues seront importées dans Groupie Manuel grâce à l'assistant d'importation.

Basculer vers le module Groupie+ et se positionner directement sur l'onglet "Raideurs".

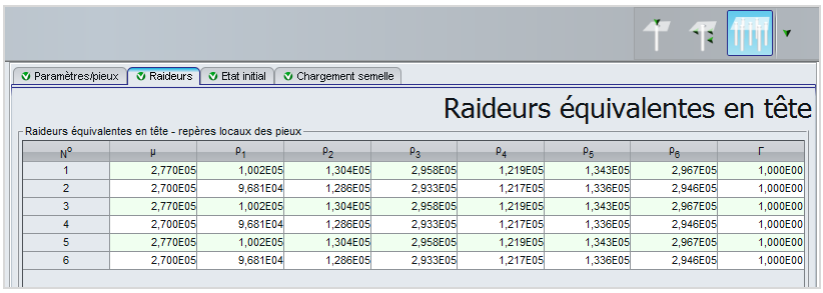
H.4.2.2.15. Distribution des efforts – 2ère itération (Groupie Manuel)

Onglet "Raideurs"

Nous avons constaté plus haut que les raideurs issues des deux calculs Taspie+ sont identiques par rapport à l'itération précédente. Aucune modification n'est à considérer dans la première colonne.

Il convient d'importer maintenant les raideurs des derniers calculs Piecoef+ en procédant de la même manière que pour la première itération. On obtiendra alors les valeurs suivantes.

N° du pieu	**μ** (kN/m)	**ρ1** (kN/m)	**ρ2** (kN)	**ρ3** (kN.m/rad)	**ρ4** (kN/m)	**ρ5** (kN)	**ρ6** (kN.m/rad)	**Γ** (kN.m/rad)
1	2,77E05	1,002E05	1,304E05	2,958E05	1,219E05	1,343E05	2,967E05	1,000E00
2	2,70E05	9,681E04	1,286E05	2,933E05	1,217E05	1,336E05	2,946E05	1,000E00
3	2,77E05	1,002E05	1,304E05	2,958E05	1,219E05	1,343E05	2,967E05	1,000E00
4	2,70E05	9,681E04	1,286E05	2,933E05	1,217E05	1,336E05	2,946E05	1,000E00
5	2,77E05	1,002E05	1,304E05	2,958E05	1,219E05	1,343E05	2,967E05	1,000E00
6	2,70E05	9,681E04	1,286E05	2,933E05	1,217E05	1,336E05	2,946E05	1,000E00



N°	μ	ρ1	ρ2	ρ3	ρ4	ρ5	ρ6	Γ
1	2,770E05	1,002E05	1,304E05	2,958E05	1,219E05	1,343E05	2,967E05	1,000E00
2	2,700E05	9,681E04	1,286E05	2,933E05	1,217E05	1,336E05	2,946E05	1,000E00
3	2,770E05	1,002E05	1,304E05	2,958E05	1,219E05	1,343E05	2,967E05	1,000E00
4	2,700E05	9,681E04	1,286E05	2,933E05	1,217E05	1,336E05	2,946E05	1,000E00
5	2,770E05	1,002E05	1,304E05	2,958E05	1,219E05	1,343E05	2,967E05	1,000E00
6	2,700E05	9,681E04	1,286E05	2,933E05	1,217E05	1,336E05	2,946E05	1,000E00

Calcul et résultats

Relancer à présent le calcul puis accéder aux tableaux de résultats.

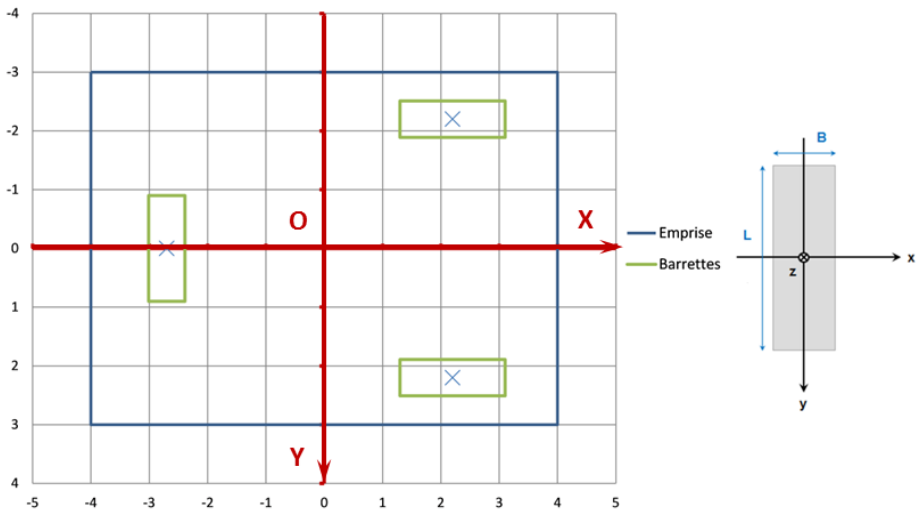
Numéro du cas de ch.	Numéro du pieu	T1	M1	T2	M2	Tz	Mz
1	1	389,79	-16,22	0,00	0,00	326,50	0,00
1	2	365,21	16,22	0,00	0,00	-587,86	0,00
1	3	389,79	-16,22	0,00	0,00	326,50	0,00
1	4	365,21	16,22	0,00	0,00	-587,86	0,00
1	5	389,79	-16,22	0,00	0,00	326,50	0,00
1	6	365,21	16,22	0,00	0,00	-587,86	0,00

On constate que les efforts en têtes de pieux sont identiques à ceux obtenu lors de la première itération. Le calcul Groupie Manuel a donc convergé.

On note également que ces résultats sont très proches de ceux obtenus par le calcul Groupie+ Automatique considérés comme référence. Les résultats de calcul en mode Groupie Manuel (étape 2) s'écartent en moyenne de 3 ‰ par rapport à la référence.

H.4.3. Exemple 3 : Fondation sur barrettes

Il s'agit d'étudier le comportement d'une semelle infiniment rigide fondée sur un ensemble de trois barrettes 1,80 m x 0,62 m. Compte-tenu des dimensions transversales des barrettes ainsi que de leur orientation, le passage au mode Groupie+ Automatique Avancé est indispensable. Deux familles de barrettes sont à considérer.



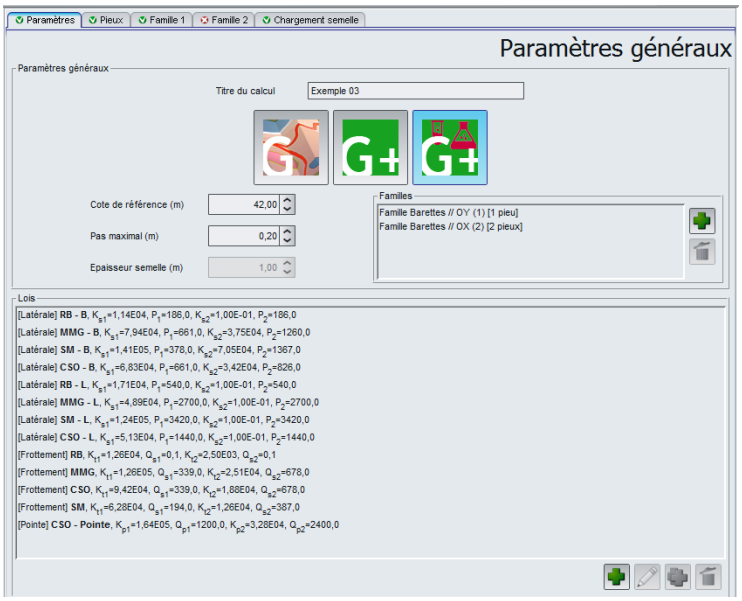
Par souci de compréhension, ci-après la liste des couches de sols définies dans cet exemple :

- RB : Remblais de berge (Remblais) ;
- MMG : Masses et Marnes du Gypse (Marnes) ;
- SM : Sables de Monceau (Sables) ;
- CSO : Marno-Calcaire de Saint-Ouen (Marno-Calcaire).

H.4.3.1. Saisie des données

La démarche de création d'un nouveau projet et du choix des modules est identique à celle présentée dans l'exemple 01 (cf. deux premières sous parties § H.4.1.1).

H.4.3.1.1. Onglet "Paramètres"



Cadre "Paramètres généraux"

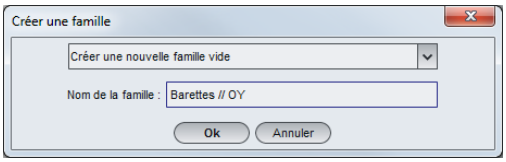
- Titre du calcul Groupie+ : on notera simplement "Exemple 03" ;
- Groupie+ Automatique Avancé : sélectionné ;
- Cote de référence (m) : 42,00 ;
- Pas maximal (m) : 0,20 ;
- Epaisseur de la semelle (m) : semelle parfaitement rigide.

Le mode avancé fait apparaître le cadre secondaire "Familles" :

Deux familles de barrettes sont à créer en cliquant sur le bouton :

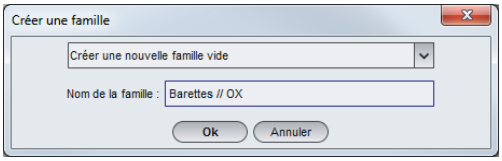
- Créer une nouvelle famille vide :

  Nom de la famille : Barrette // OY et cliquer sur le bouton ;



- Créer une nouvelle famille vide :

  Nom de la famille : Barrette // OX et cliquer sur le bouton .



Après la création de ces deux familles, deux onglets apparaissent marqués d'une croix rouge

puisqu'ils ne sont pas encore renseignés.

Cadre "Lois"

Les lois créées ici permettent d'attribuer des paramètres aux couches de sol. Celles-ci seront définies dans les onglets "Famille 1" et "Famille 2".

- Cliquer sur le bouton pour ajouter une loi :

  Lois latérales :

  Les données à saisir sont les suivantes :

Nom de la loi	K_{s1} (kN/m/m)	P_1 (kN/m)	K_{s2} (kN/m/m)	P_2 (kN/m)
RB – B	1,14E04	186,0	1,00E-01	186,0
MMG – B	7,49E04	661,0	3,75E04	1260,0
SM – B	1,41E05	378,0	7,05E04	1367,0
CSO – B	6,83E04	661,0	3,42E04	826,0
RB – L	1,71E04	540,0	1,00E-01	540,0
MMG – L	4,89E04	2700,0	1,00E-01	2700,0
SM – L	1,24E05	3420,0	1,00E-01	3420,0
CSO – L	5,13E04	1440,0	1,00E-01	1440,0

Lois de frottement :

Les données à saisir sont les suivantes :

Nom de la loi	K_{t1} (kN/m/m)	Q_{s1} (kN/m)	K_{t2} (kN/m/m)	Q_{s2} (kN/m)
RB	1,26E04	0,1	2,50E03	0,1
MMG	1,26E05	339,0	2,51E04	678,0
SM	6,28E04	194,0	1,26E04	387,0
CSO	9,42E04	339,0	1,88E04	678,0

Loi de pointe :

Les données à saisir sont les suivantes :

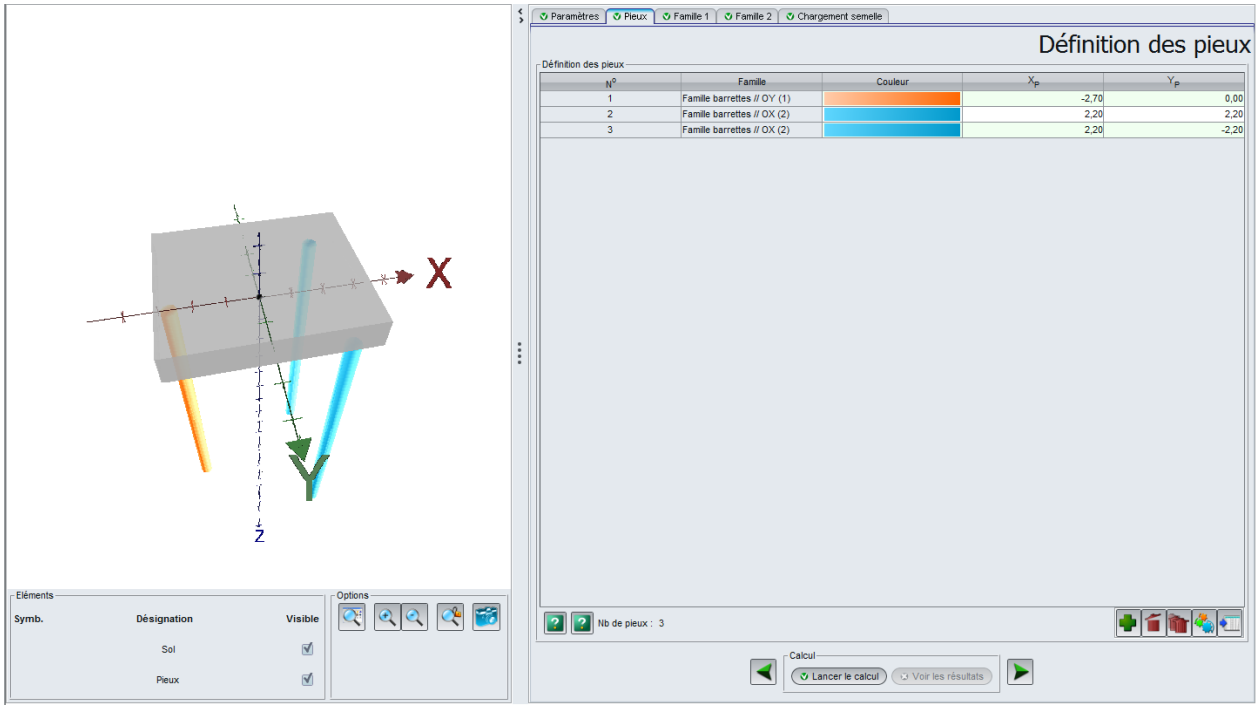
Nom de la loi	K_{p1} (kN/m)	Q_{p1} (kN)	K_{p2} (kN/m)	Q_{p2} (kN)
CSO - Pointe	1,64E05	1200,0	3,28E04	2400,0

Cadres "Paramètres avancés"

- Modifier les paramètres avancés : décochée.

H.4.3.1.2. Onglet "Pieux"

On crée trois éléments (barrettes) à l'aide du bouton .



Les données à saisir sont les suivantes :

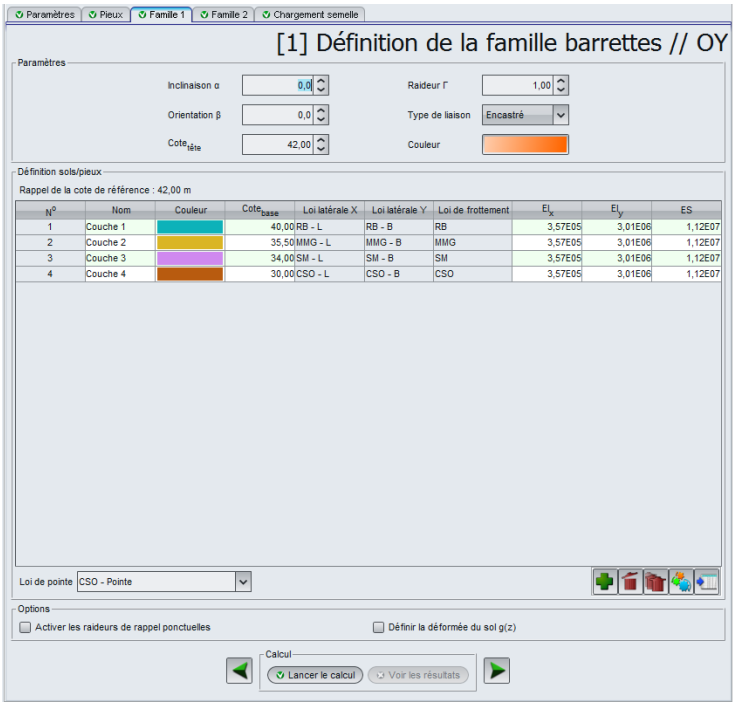
N° du pieu	**Famille**	**X_P**	**Y_P**
1	Famille barrettes // OY (1)	-2,70	0,00
2	Famille barrettes // OX (2)	2,20	2,20
3	Famille barrettes // OX (2)	2,20	-2,20

Nota : les couleurs sont attribuées automatiquement à chaque famille.

*Edition Juin 2015 - **Copyright © FoXta v3 - 2011***

H.4.3.1.3. Onglet "Famille 1"

Ce premier onglet "Famille 1" permet de définir les caractéristiques de la première famille de barrettes. Le nom de la famille "Barrettes // OY" saisi dans l'onglet "Paramètres" est repris en haut de l'onglet.



Cadre "Paramètres"

Données à saisir :

- α : Inclinaison (°) : 0,0
- β : Orientation (°) : 0,0
- **Cote$_{tête}$** (m) : 42,00
- **γ** : Raideur (kN.m/rad) : 1,00
- **Type de liaison** : encastré
- **Couleur** : initialisée automatiquement à la création de la famille.

Cadre "Définition sols/pieux"

Groupie+ automatique avancé rappelle la cote de référence : 42,0 m.

Données à saisir :

Nom des couches	**Cote$_{base}$** (m)	**Loi latérale x**	**Loi latérale y**	**Loi de frottement**	**EI$_x$** (kN.m²)	**EI$_y$** (kN.m²)	**ES** (kN)
Remblais	40,0	RB - L	RB - B	RB	3,57E05	3,01E06	1,12E07
Marnes	35,5	MMG - L	MMG - B	MMG	3,57E05	3,01E06	1,12E07
Sables	34,0	SM - L	SM - B	SM	3,57E05	3,01E06	1,12E07
Marno-Calcaire	30,0	CSO - L	SM - B	CSO	3,57E05	3,01E06	1,12E07

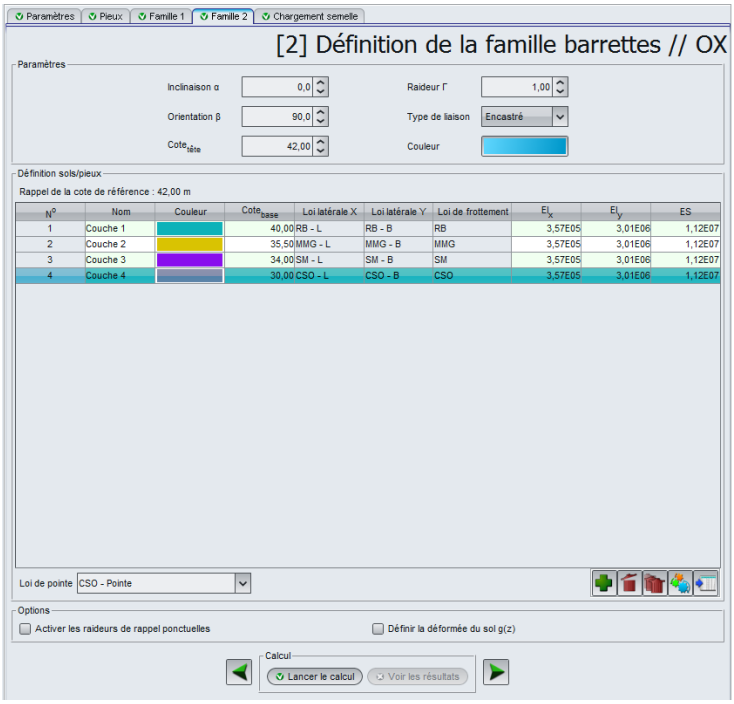
- Loi de pointe : CSO – Pointe

Cadre "Options"

- Activer les raideurs de rappel ponctuelles : décochée
- Définir la déformée du sol g(z) : décochée

H.4.3.1.4. Onglet "Famille 2"

Ce deuxième onglet "Famille 2" permet de définir les caractéristiques de la deuxième famille de barrettes. Le nom de la famille "Barrettes // OX" saisi dans l'onglet "Paramètres" est repris en haut de l'onglet.



Cadre "Paramètres"

Données à saisir :

- α : Inclinaison (°) : 0,0
- β : Orientation (°) : 90,0
- **Cote$_{tête}$** (m) : 42,00
- **γ** : Raideur (kN.m/rad) : 1,00
- **Type de liaison** : encastré
- **Couleur** : initialisée automatiquement à la création de la famille.

Cadre "Définition sols/pieux"

Groupie+ automatique avancé rappelle la cote de référence : 42,00 m.

Données à saisir :

Nom des couches	**Cote$_{base}$** (m)	**Loi latérale x**	**Loi latérale y**	**Loi de frottement**	**El$_x$** (kN.m²)	**El$_y$** (kN.m²)	**ES** (kN)
Remblais	40,0	RB - L	RB - B	RB	3,57E05	3,01E06	1,12E07
Marnes	35,5	MMG - L	MMG - B	MMG	3,57E05	3,01E06	1,12E07
Sables	34,0	SM - L	SM - B	SM	3,57E05	3,01E06	1,12E07
Marno-Calcaire	30,0	CSO - L	SM - B	CSO	3,57E05	3,01E06	1,12E07

- Loi de pointe : CSO – Pointe

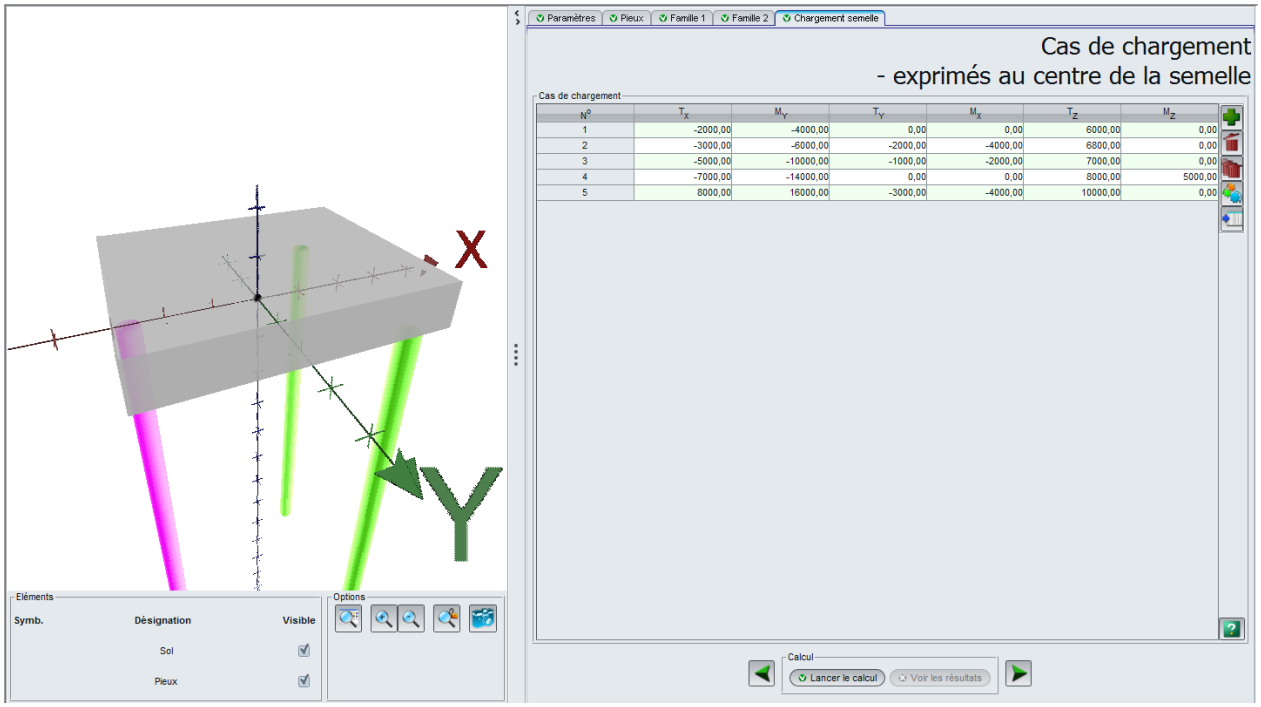
Cadre "Options"

- Activer les raideurs de rappel ponctuelles : décochée
- Définir la déformée du sol g(z) : décochée

Nota : la seule différence entre les deux familles étant l'orientation des barrettes autour de l'axe OZ, il est possible de créer la famille 2 comme une copie exacte de la famille 1 puis d'opérer la petite modification ($\beta = 90°$).

H.4.3.1.5. Onglet "Chargement de la semelle"

Les cas de chargement saisis dans cet onglet sont exprimés au centre de la semelle O.



Cadre "Cas de chargement"

Données à saisir :

N° du cas de charge	T_X (kN)	M_Y (kN.m)	T_Y (kN)	M_X (kN.m)	T_Z (kN)	M_Z (kN.m)
1	-2000	-4000	0	0	6000	0
2	-3000	-6000	-2000	-4000	6800	0
3	-5000	-10000	-1000	-2000	7000	0
4	-7000	-14000	0	0	8000	5000
5	8000	16000	-3000	-4000	10000	0

H.4.3.2. Calcul et résultats

H.4.3.2.1. Calcul

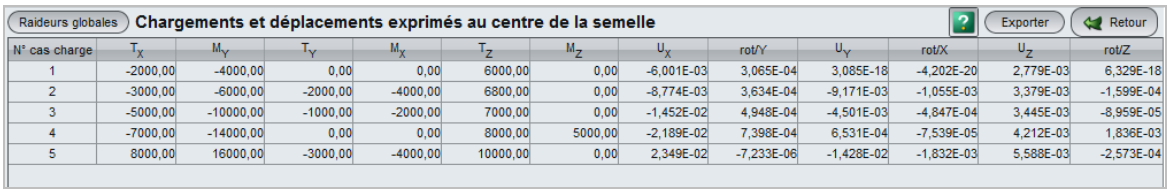
La procédure de calcul présentée dans l'exemple 01 est applicable (cf. chapitre H.4.1.2.1).

H.4.3.2.2. Résultats

Résultats numériques :

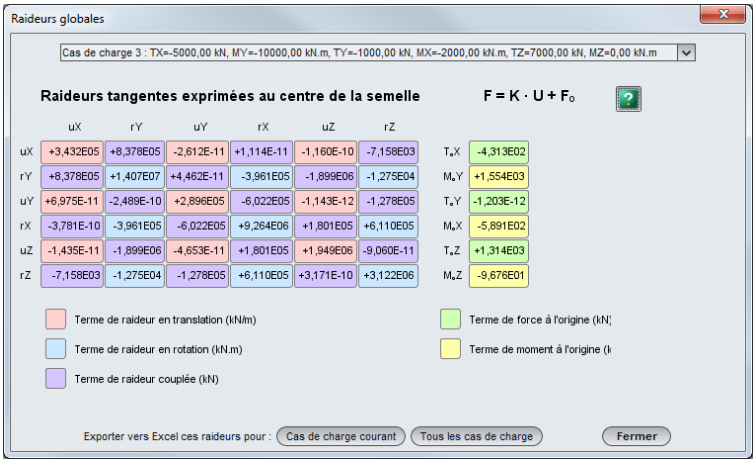
Chargement / Déplacement de la semelle

Ce tableau présente les déplacements de la fondation, exprimés au centre de la semelle, avec un rappel des torseurs de chargement associés.



N° cas charge	T_X	M_Y	T_Y	M_X	T_Z	M_Z	U_X	rot/Y	U_Y	rot/X	U_Z	rot/Z
1	-2000,00	-4000,00	0,00	0,00	6000,00	0,00	-6,001E-03	3,065E-04	3,085E-18	-4,202E-20	2,779E-03	6,329E-18
2	-3000,00	-6000,00	-2000,00	-4000,00	6800,00	0,00	-8,774E-03	3,634E-04	-9,171E-03	-1,055E-03	3,379E-03	-1,599E-04
3	-5000,00	-10000,00	-1000,00	-2000,00	7000,00	0,00	-1,452E-02	4,948E-04	-4,501E-03	-4,847E-04	3,445E-03	-8,959E-05
4	-7000,00	-14000,00	0,00	0,00	8000,00	5000,00	-2,189E-02	7,398E-04	6,531E-04	-7,539E-05	4,212E-03	1,836E-03
5	8000,00	16000,00	-3000,00	-4000,00	10000,00	0,00	2,349E-02	-7,233E-06	-1,428E-02	-1,832E-03	5,588E-03	-2,573E-04

Pour obtenir les raideurs globales de la fondation, cliquer sur le bouton Raideurs globales. Utiliser la liste déroulante pour changer le cas de charge.



Efforts en tête des pieux

Ce tableau donne, pour chaque cas de charge, les efforts transmis en tête de chaque barrette.

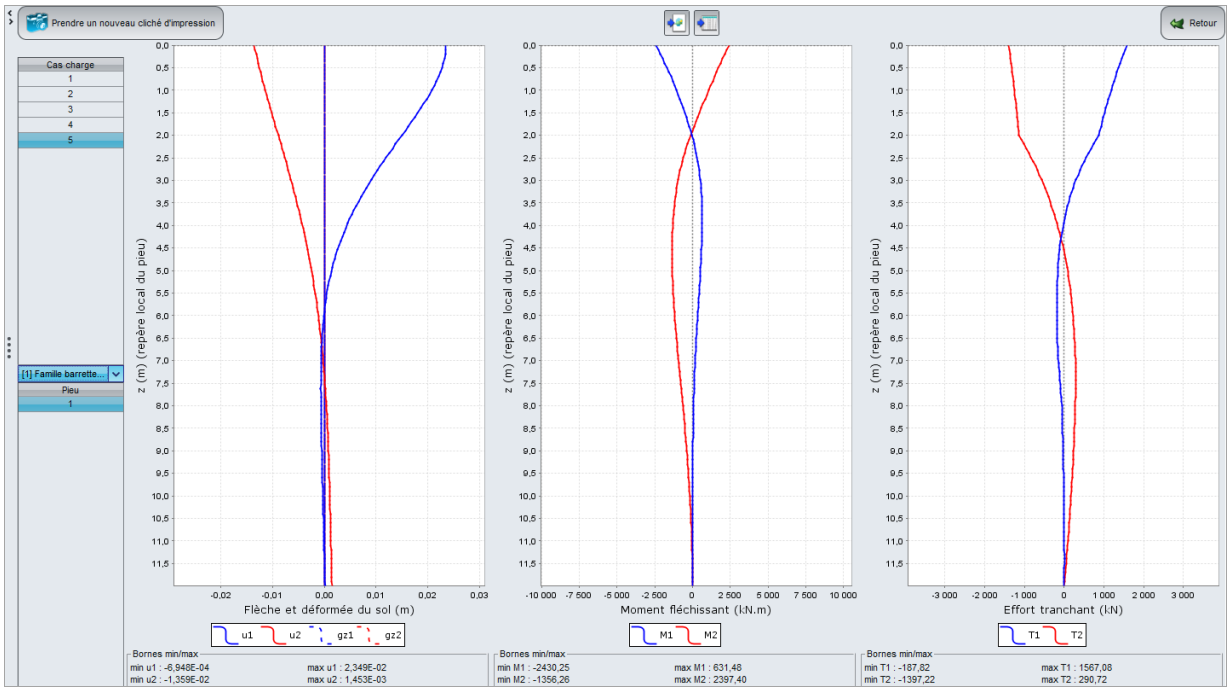
Efforts en tête des pieux Exporter Retour

N° cas charge	N° pieu	T_1	M_1	T_2	M_2	T_z	M_z
1	1	-368,797	534,183	-0,000	0,000	2751,310	0,000
1	2	0,000	-0,000	815,601	-1873,630	1624,340	0,000
1	3	0,000	-0,000	815,601	-1873,630	1624,340	0,000
2	1	-548,010	805,157	-947,282	1741,560	3167,120	-0,000
2	2	-526,359	685,894	1171,070	-2737,840	199,773	-0,000
2	3	-526,359	685,894	1280,920	-3015,870	3433,110	-0,000
3	1	-917,971	1362,840	-473,270	896,453	3375,530	-0,000
3	2	-263,365	348,539	2013,960	-4816,630	995,521	-0,000
3	3	-263,365	348,539	2068,060	-4960,650	2628,940	-0,000
4	1	-1384,420	2056,130	-641,898	1577,660	4010,420	0,002
4	2	320,949	-507,254	3229,310	-8302,170	1866,800	0,002
4	3	320,949	-507,254	2386,270	-5692,760	2122,780	0,002
5	1	1567,080	-2430,250	-1397,220	2397,400	3739,580	-0,000
5	2	-801,389	1016,350	-3272,450	8799,350	1214,280	-0,000
5	3	-801,389	1016,350	-3160,460	8446,450	5046,140	-0,000

Résultats graphiques :

Comportement latéral

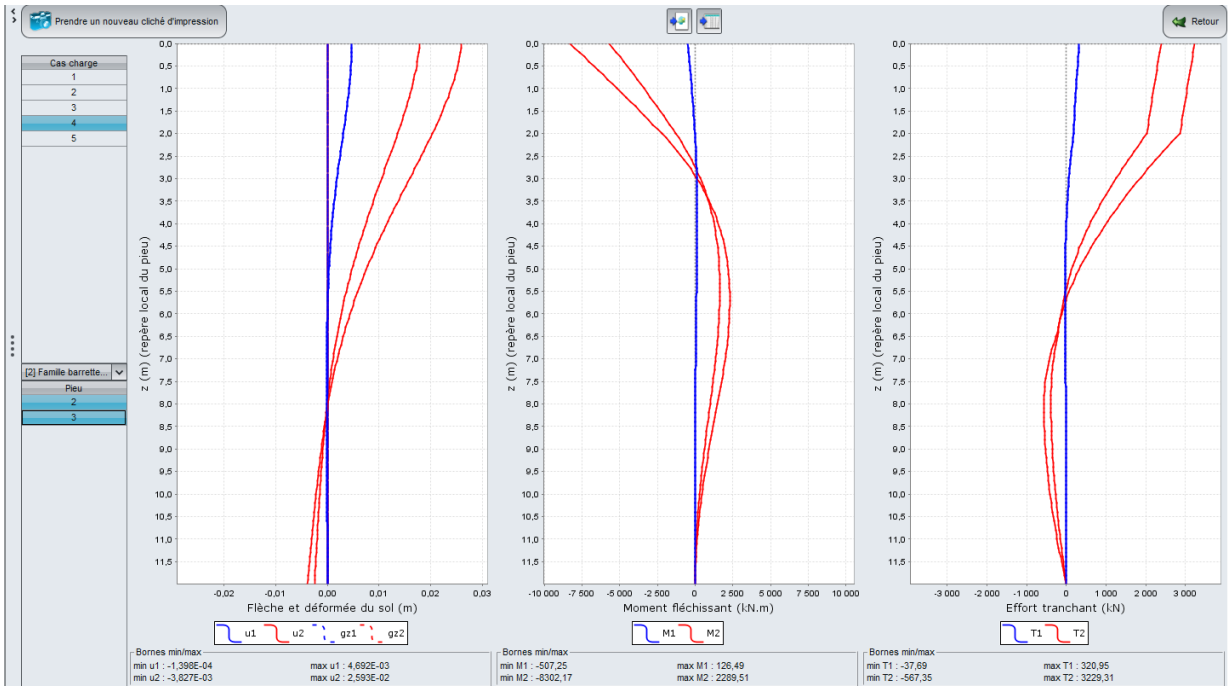
Cas de charge N°5 : Famille N°1 "Barrettes // OY" - Barrette N°1



Bornes minimum et maximum des différentes grandeurs :

	Flèche (m)		Moment fléchissant (kN.m)		Effort tranchant (kN)	
	u1	**u2**	**M1**	**M2**	**T1**	**T2**
Borne min	-6,948E-04	-1,359E-02	-2430,25	-1356,26	-187,82	-1397,22
Borne max	2,349E-02	1,453E-03	631,48	2397,40	1567,08	290,72

Cas de charge N°4 : Famille N°2 "Barrettes // OX" - Barrettes N° 2 et 3

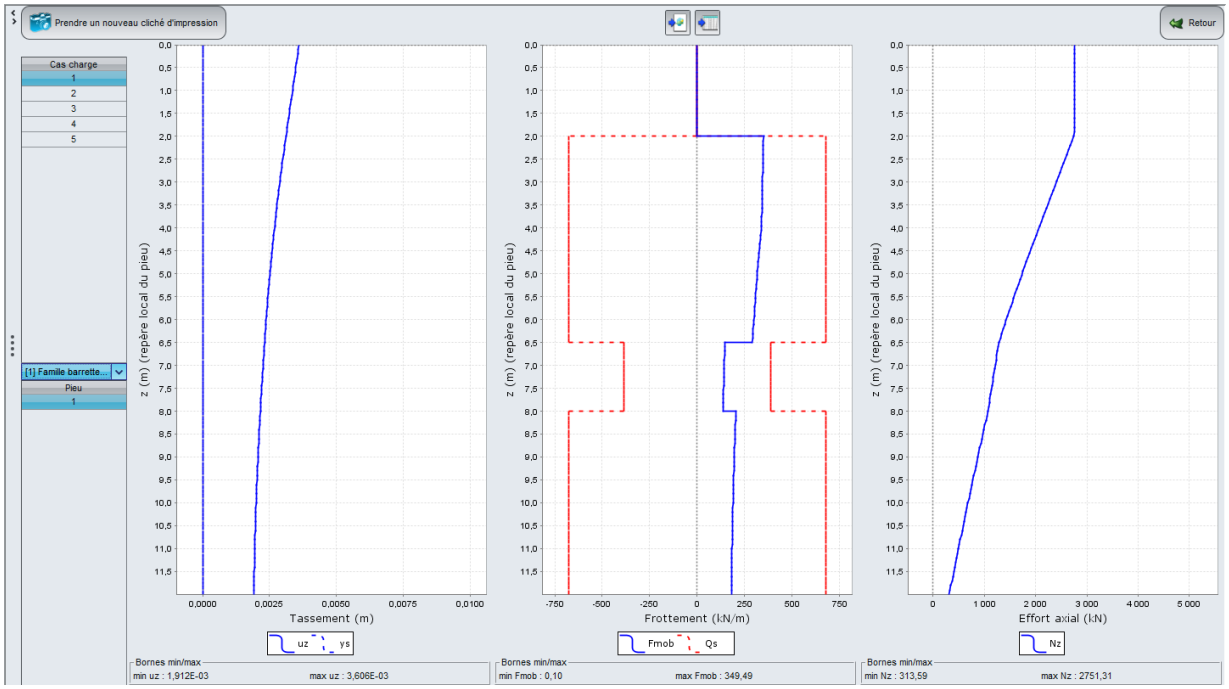


Bornes minimum et maximum des différentes grandeurs :

	Flèche (m)		Moment fléchissant (kN.m)		Effort tranchant (kN)	
	u1	**u2**	**M1**	**M2**	**T1**	**T2**
Borne min	-1,398E-04	-3,827E-03	-507,25	-8302,17	-37,69	-567,35
Borne max	4,692E-03	2,593E-02	126,49	2289,51	320,95	3229,31

Comportement axial

Cas de charge N°1 : Famille N°1 "Barrettes // OY" - Barrette N°1



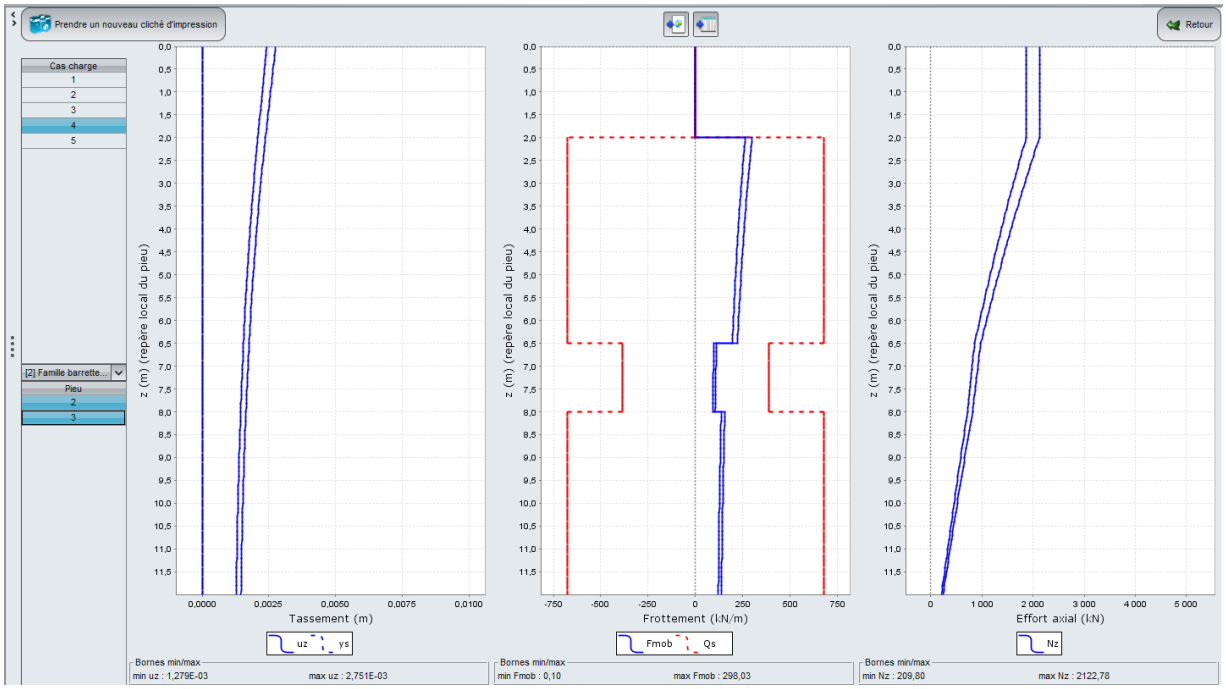
*Edition Juin 2015 - **Copyright © FoXta v3 - 2011***

Bornes minimum et maximum des différentes grandeurs :

	Tassement (m)	Frottement linéique (kN/m)	Effort axial (kN)
Borne min	1,912E-03	0,10	313,59
Borne max	3,606E-03	349,49	2751,31

Nota : le frottement mobilisé est exprimé sous forme d'effort linéique (en kN/m) qui correspond à l'intégrale du frottement sur le périmètre de chaque barrette.

Cas de charge N°4 : Famille N°2 "Barrettes // OX" - Barrettes N°2 et 3

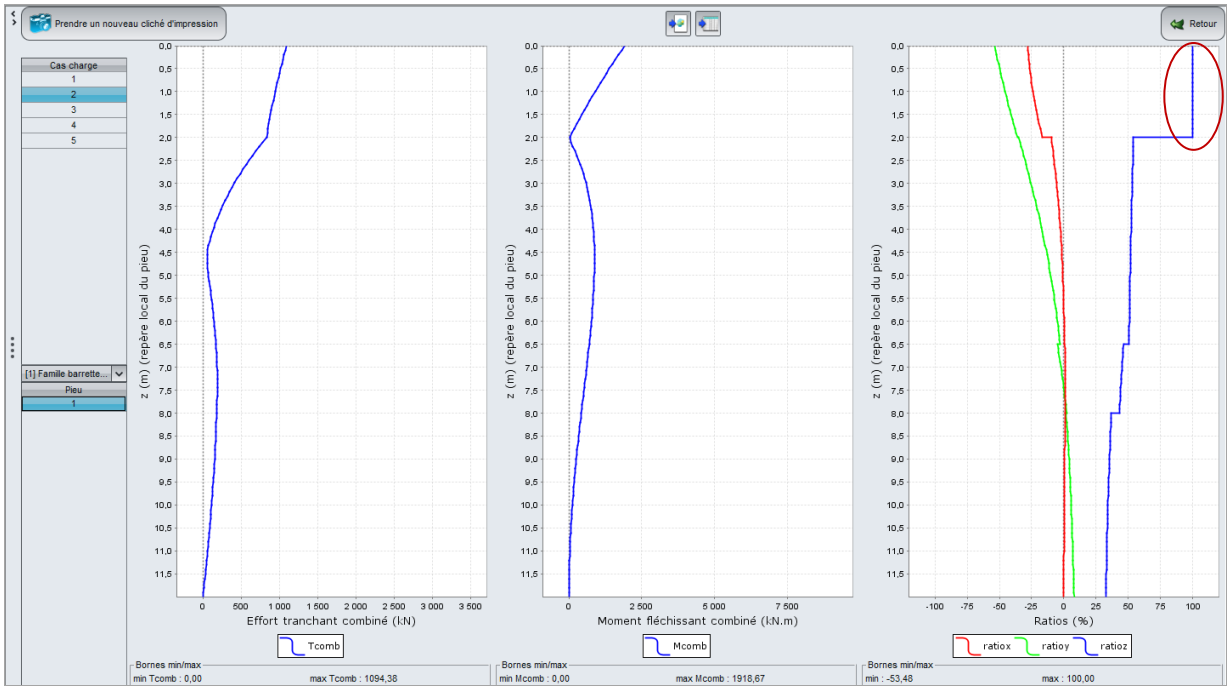


Bornes minimum et maximum des différentes grandeurs :

	Tassement (m)	Frottement linéique (kN/m)	Effort axial (kN)
Borne min	1,279E-03	0,10	209,80
Borne max	2,751E-03	298,03	2122,78

Résultats complémentaires

Cas de charge N°2 : Famille 1 "Barrettes //OY" – Barrette N°1



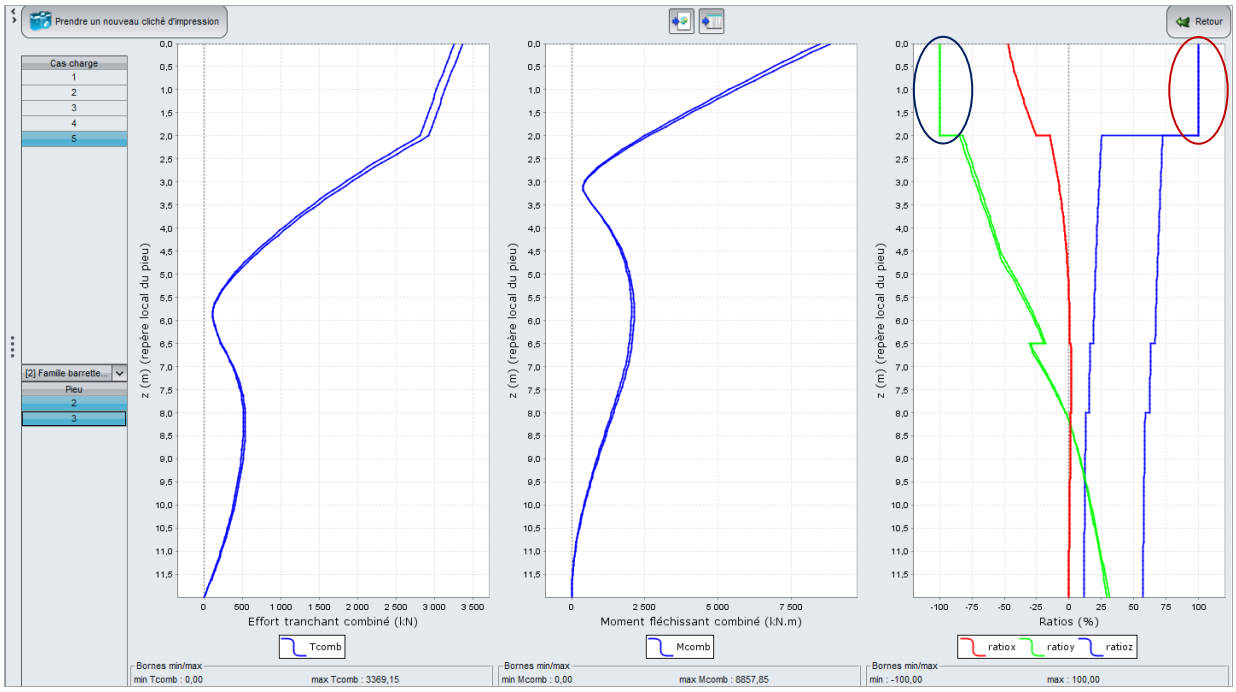
Bornes minimum et maximum des différentes grandeurs :

	Effort tranchant combiné (m)	Moment fléchissant combiné (kN/m)	Ratios (%)
Borne min	0,00	0,00	-53,48
Borne max	1094,38	1918,67	100,00

Nota : le frottement étant négligé dans les remblais, le taux de mobilisation atteint facilement 100% dans cette couche. C'est ce qui explique les parties verticales à 100% des courbes bleues.

*Edition Juin 2015 - **Copyright © FoXta v3 - 2011***

Cas de charge N°5 : Famille N°2 "Barrettes //OX" – Barrettes N°2 et 3



Bornes minimum et maximum des différentes grandeurs :

	Effort tranchant combiné (m)	Moment fléchissant combiné (kN/m)	Ratios (%)
Borne min	0,00	0,00	-100,00
Borne max	3369,15	8857,85	100,00

Nota : il y a plastification du sol dans la direction locale y-y pour les barrettes de la famille 2 sous le CDC N°5. Ceci montre que la réaction latérale produite sur la largeur des barrettes (notée B) atteint sa limite sur toute la hauteur de la couche de remblais.